









بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون"

صَلَّى  
الْعِظَمِ





كلية الفنون الجميلة  
قسم النحت

# الإمكانات التشكيلية لخامة الأكريليك فى فن النحت Plastic Possibilities of Acrylic in Sculpture

رسالة  
مقدمة من  
رحاب عصام خليل

معيدة بكلية الفنون الجميلة - قسم النحت - جامعة الإسكندرية  
للحصول على درجة الماجستير من قسم النحت  
بكلية الفنون الجميلة  
جامعة الإسكندرية

إشراف

الأستاذ الدكتور/ جابر عبدالمنعم حجازى  
أستاذ متفرغ بقسم النحت  
بكلية الفنون الجميلة  
جامعة الإسكندرية

الأستاذ الدكتور/ طارق رجب زبادى  
رئيس قسم النحت  
بكلية الفنون الجميلة  
جامعة الإسكندرية

الأستاذ الدكتور/ شريف حسين قنديل  
الأستاذ بمعهد الدراسات العليا والبحوث  
بجامعة الإسكندرية



## إشادة

الحمد لله الذى هدانا لهذا وما كنا لنهتدى لولا أن هدانا الله

والصلاة والسلام على خاتم المرسلين ورحمة الله للعالمين النبى الأُمى الأمين ، اللهم لا علم لنا إلا ما علمتنا يا عليم بك نستعين وعليك نتوكل وبعد،

أخص بالشكر الأستاذ الدكتور/ طارق رجب زبادى - أستاذ النحت ورئيس قسم النحت بكلية الفنون الجميلة - جامعة الإسكندرية و الأستاذ الدكتور/ جابر حجازى أستاذ النحت بقسم النحت بكلية الفنون الجميلة - جامعة الإسكندرية و الأستاذ الدكتور/ شريف قنديل الأستاذ بمعهد الدراسات العليا والبحوث لما قدموه من جهد وعون صادق فى جميع مراحل إعداد البحث منذ بدء اختيار موضوع البحث والمساعدات الصادقة حرصا على إتمام هذا البحث وإخراجه فى صورة مشرفة.

وتنتهز الباحثة فرصة الانتهاء من هذه الدراسة لتتقدم بخالص الشكر وأسمى معانى التقدير والعرفان للأستاذ الدكتور/ عبد المنعم محمد محمد أستاذ النحت ورئيس قسم النحت بكلية الفنون الجميلة - جامعة القاهرة و الأستاذ الدكتور/ سمير شوشان أستاذ النحت بقسم النحت بكلية الفنون الجميلة - جامعة الإسكندرية للجهد الموفور والعون الصادق والتسهيلات التى قدموه خلال مناقشة الرسالة.

الباحثة



# إهداء

أهدي ثمرة عملي وجهدي إلى من قدما لي  
الحب والرعاية أدعو لهما بطول العمر...أبى  
الغالى وأمى الحنون اللذان كانا نوراً لي فى طريقى.





-١-

## فهرس المحتويات

رقم الصفحة	
٣-١	المقدمة
٤١-٥	الباب الأول : خانة الأكريليك
٧-٥	مقدمة عامة عن البلاستيك
١١-٨	الفصل الأول: مدخل إلى خامة الأكريليك
٢٣-١٢	الفصل الثانى: الخواص الكيميائية والبنائية لخامة الأكريليك
١٥-١٣	- بوليمرات الأكريليك
١٨-١٥	- الخواص البنائية
٢٣-١٨	- الخواص الكيميائية
٤١-٢٤	الفصل الثالث: الخواص الفيزيائية لخامة الأكريليك
٣١-٢٥	- الخواص الحرارية
٣٤-٣٢	- الخواص البصرية
٤١-٣٤	- الخواص الميكانيكية
١٠٤-٤٢	الباب الثانى: أساليب التشكيل النحتى لخامة الأكريليك
٠ ٤٣	مقدمة
٥٥-٤٥	الفصل الأول: أساليب التشكيل المباشر لخامة الأكريليك
٤٥	- العدد والأدوات المستخدمة فى عملية التشكيل
٥٥-٤٦	- أساليب التشكيل المباشر
٧٣-٥٧	الفصل الثانى: التشكيل الحرارى لألواح الأكريليك
٦١-٥٧	- طرق تسخين ألواح الأكريليك
٦٧-٦١	- التشكيل بتفريغ الهواء
٦٨-٦٧	- التشكيل بالضغط
٧٢-٧٠	- طريقة عمل أشكال اسطوانية من لوح الأكريليك



## -ب-

### تابع فهرس المحتويات

رقم الصفحة	
٨٢-٧٥	الفصل الثالث : التشكيل بالصب
٧٦-٧٥	- التشكيل فى الحالة المتعجنة
٧٩-٧٦	- التشكيل بالحقن
٧٩	- التشكيل بالبتق
٨١-٧٩	- التشكيل فى الحالة السائلة
٩٦-٨٣	الفصل الرابع : أساليب التجميع
٨٥-٨٤	- الربط بطريقة اللصق
٨٧-٨٥	- خواص مواد اللصق
٨٩-٨٧	- تقسيمات مواد اللصق
٩٠-٨٩	- إعداد السطح لعملية اللصق
٩٢-٩١	- تشكيل بالتصفيح
٩٥-٩٢	- اللحام بالغاز الساخن
٩٥	- اللحام بالاحتكاك الدائرى
٩٦٣	- اللحام بأدوات ساخنة
١٠٤-٩٨	الفصل الخامس: أساليب الإنهاء والتشطيب
١٠١-٩٩	- الصنفرة
١٠٢-١٠١	- الصقل
١٠٣-١٠٢	- التلميع
١٠٤	- التنظيف
١٥٧-١٠٦	الباب الثالث: المعطيات التشكيلية لخامة الأكرليك
١٠٧	- مقدمة
١١٣-١٠٨	الفصل الأول: الرؤية التشكيلية للضوء فى المدرسة البنائية



## -ج-

### تابع فهرس المحتويات

رقم الصفحة	
١٣٥-١١٥	الفصل الثانى : التشكيل بالضوء
١١٦-١١٥	- تأثير الضوء على الأشكال
١١٧-١١٦	- الألياف البصرية
١٢٠-١١٨	- التشكيل بالضوء
١٢٠	- الحركة فى التشكيل الضوئي
١٢١	- التشكيل بالضوء خلال خامة الأكريليك
١٢٨-١٢٢	- الإضاءة الحافية
١٣٥-١٢٩	- إضاءة النقوش
١٤٩-١٣٧	الفصل الثالث: التشكيل بالتلوين
١٣٧	- البلاستيك الملون صناعيا
١٣٩-١٣٧	- خواص المخضبات
١٤٠	- التشكيل النحتى باللون
١٤٣-١٤١	- التلوين بالضوء
١٤٦-١٤٣	- التلوين بالمواد الصبغية
١٤٩-١٤٦	- نموذج لعمل نحتى ملون بالسوائل المتحركة
١٥٧-١٥١	الفصل الرابع: الشفافية
١٥١	- مفهوم الشفافية
١٥٤-١٥٢	- انتقال الضوء داخل الأجسام الشفافة والنصف شفافة
٢٢١-١٥٨	الباب الرابع: تطبيقات عملية
١٧٦-١٥٨	الفصل الأول : نماذج لبعض أعمال فنانين معاصرين منفذة بخامة الأكريليك
٢٢١-١٧٨	الفصل الثانى: تجارب عملية للباحث





## فهرس الأشكال

رقم الشكل	رقم الصفحة
١	١٨
٢	٢٠
٣	٢٣
٤	٢٦
٥	٢٦
٦	٣١
٧	٣٢
٨	٣٩
٩	٣٩
١٠	٤٧
١١	٥٠
١٢	٥٠
١٣	٥٣
١٤	٥٤
١٥	٥٩
١٦	٦٣
١٧	٦٥
١٨	٦٥
١٩	٦٦
٢٠	٦٦
٢١	٦٨
٢٢	٦٩



## تابع فهرس الأشكال

رقم الشكل	رقم الصفحة
٢٣	٧١
٢٤	٧٢
٢٥	٧٨
٢٦	٨٠
٢٧	٨٦
٢٨	٩٤
٢٩	١٠٠
٣٠	١١٠
٣١	١١١
٣٢	١١٢
٣٣	١١٧
٣٤	١٢٢
٣٥	١٢٤
٣٦	١٢٥
٣٧	١٢٧
٣٨	١٢٨
٣٩	١٣٠
٤٠	١٣١
٤١	١٣٢
٤٢	١٣٤
٤٣	١٣٥
٤٤	١٣٩



## تابع فهرس الأشكال

رقم الشكل	رقم الصفحة
٤٥	١٤١ نحت بارز - شرائح من الأكريليك الملون
٤٦	١٤٤ موسيقى الألوان - مستطيلات من الأكريليك
٤٧	١٤٧ نخل في بيئة - تشكيل بالأكريليك الملون الشفاف
٤٨	١٤٨ خط الضوء - تشكيل بالسوائل المتحركة
٤٩	١٥٣ الانتقال المنتظم للضوء داخل الأجسام الشفافة
٥٠	١٥٣ الانتقال المنتظم للضوء داخل الأجسام النصف شفاف
٥١	١٥٥ مرور الضوء عبر كتلة من الأكريليك
٥٢	١٥٧ تشكيل بتفريغ الهواء - للفنان كنيث سلوت
٥٣	١٦١ تجربة للفنان تاكايسو
٥٤	١٦٣ تجربة للفنان فرانسيسكو سوبرينو
٥٥	١٦٦ تجربة للفنان نيوكلاس روكسى
٥٦	١٧٦ تجربة للفنان جاك سشير
٥٧	١٨٠ تجربة الباحث - الحصان
٥٨	٢٠٢ تجربة الباحث - شكل بيضى
٥٩	٢١٣ تجربة الباحث - وجهان
٦٠	٢١٤ تجربة الباحث - العروسة
٦١	٢١٧ تجربة الباحث - الديك
٦٢	٢١٨ تجربة الباحث - طيور
٦٣	٢٢١ تجربة الباحث - البساط



## مقدمة

يعد فن النحت من الفنون التشكيلية التي تعني إلى حد كبير بخصائص المواد وإمكاناتها الطبيعية التي تساعد الفنان على تحقيق غايته التعبيرية المختلفة. وتشتمل المواد الخام النحتية الشائعة على تلك المواد العضوية وغير العضوية، أنواع متعددة من الخشب والحجر وتستخدم كما هي في حالاتها الطبيعية، وكذلك المواد التخليقية الصناعية. وهناك مواد أخرى تم معالجتها إلى حد بعيد أو قريب مثل النحاس الأصفر الذي يستخلص من خام النحاس عبر عملية تسخين عالية. وهناك مواد يتم دمجها بأخرى أثناء عملية معالجتها، وذلك لإنتاج مواد جديدة بخصائص فريدة مثل البرونز وهو خليط من النحاس والقصدير.

وكثير من المواد تعتبر تخليقية أو مركبة من عناصر طبيعية وكيميائية، ومن هذه المواد البلاستيك. وتعتمد الخصائص الطبيعية (الفيزيائية) للمادة على التكوين الأساسي لها من حيث ميزان الذرات والجزيئات. وتشتمل على سمات مثل القوة والصلابة وقابلية التشكيل والمرونة. وقد تتشابه المواد فيما يخص هذه الصفات، أو قد تختلف من حيث التركيب الداخلي بشكل منظم أو عشوائي.

وتؤثر هذه المواد بشكل مباشر على مدى مناسبة المادة للنحت والتشكيل. ومن منظور بنائي يمكن تقسيم خصائص المادة إلى خصائص ميكانيكية تتبع من التكوين الداخلي للمادة. وتعد القوة (بمعنى قدرة المادة على تحمل الضغط الداخلي) من الخصائص الأولية، ومن الخصائص المرتبطة بالأداء الميكانيكي للمادة الهشاشة والليونة والقابلية التشكيل. وهناك خواص أخرى تتعلق بتداخل المادة مع الضوء ومنظرها العام مثل الشفافية والانعكاسية، وهناك خصائص مرتبطة بأداء المادة عبر الزمن، فهناك مواد مثل الخرسانة تكتسب القوة بمرور الزمن، وبعض المواد قد يتغير لونها السطحي مثل النحاس عندما تتكون عليه المادة الخضراء. وبعض المواد قد تتغير بشكل غير مرغوب فيه مثل الحجر الرملي الذي يفقد ملامحه نتيجة للتآكل بواسطة الرياح أو المطر. وهناك بعض أنواع من البلاستيك يتغير لونها بفعل الزمن تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية.





ولذلك درج الكثير من النحاتين عبر العصور على الاهتمام بالخصائص الطبيعية المميزة للخامات لما تسهم به هذه الخصائص من تحقيق غاياتهم في العمل التشكيلي كما أنصب اهتمام الفنان بالبحث عن مواد جديدة ذات خواص مختلفة عما كان مألوفاً من قبل فبي المواد التقليدية.

ويعد البلاستيك أحد المواد الجديدة التي جذبت اهتمام النحاتين - حيث فتح البلاستيك سواء منه ما يعاد تشكيله بالحرارة أو ما يثبت بالحرارة - مجالاً جديداً أمام النحاتين، فتعامل النحات مع خامة البلاستيك يختلف عن تعامله في نحته للمواد الأخرى، حيث أنها تبرز الإحساس الفني وتضاعفه عن طريق المؤثرات الضوئية.

ويعد الأكريليك، أحد خامات البلاستيك التي يمكن إعادة تشكيلها بالحرارة (الثرمو بلاستيك thermoplastic)، ولعل أكثر مواد الأكريليك انتشاراً هي مادة اسمها العلمي "بولي ميثيل ميثاكريلات" ولها أسماء تجارية أخرى وهي: البلكسي جلاس - البرسبكس - ألكتوجلاس، وهي خامة ذات خصائص تجعلها صالحة للتعبير الفراغي بوسائل تختلف عن باقي المواد الأخرى: فهي عالية الشفافية بل تعتبر واحدة من أكثر اللدائن تحقيقاً لعنصر الشفافية ولها نفاذية عالية للضوء لدرجة تفوق الزجاج في بعض الأحيان، كما تتميز بقدرتها على استقطاب الضوء، ومن ثم فإن الفنان يستطيع أن يستخدم الضوء النافذ خلال هذه المادة كعنصر تشكيلي يحقق إمكانيات تشكيلية جديدة تضيف أبعاداً أخرى للتعبير الفراغي، وبذلك يمكن أن يدخل الضوء الملون كعنصر متحرك في العمل النحتي من خلال التحكم في مساراته ودرجاته وإيقاعاته.

ومن المعروف أن استخدامات هذه الخامة نحتياً قد بدأت في أواخر القرن العشرين، فكان أول من استخدم التشكيل الحراري لألواح الأكريليك في عمل مجسمات شفافة ناعوم جابو وموهول ناجي، وهما من رواد المدرسة التركيبية ومهدا لظهور النحت الشفاف، فنعوم جابو مثال روسي بدأ تجاربه على الخامات التخيلية وخاصة خامة الأكريليك فاستفاد منها بعد دراسته لطبيعة هذه الخامة ومدى علاقتها في الفراغ واعتمد في تشكيلاته على إنشاء تكوينات في الفضاء مكونه خطوط متناغمة باستخدام خيوط النيلون.



أما ناجي فكان هو الفنان الذي أضاف إلي تقنية إبداع الحركة في العمل النحتي كيفية إدارة الضوء واللون والتحكم فيهما. ولقد أدى استخدام الفنانين لهذه الخامات بإمكانياتها وخواصها المتعلقة بالشفافية وتداخلها مع الضوء إلي تحقيق قيم نحتية جديدة.

#### هدف البحث

يهدف هذا البحث إلي التعرف على إمكانيات خامات الأكريليك وإخضاعها للمتطلبات التشكيلية بما يجعلها في متناول الفنان التشكيلي، وذلك من خلال وضع أسس تجريبية لاكتشاف قابليات هذه الخامات من الناحية الفيزيائية والكيميائية، التي يمكن استغلالها في التشكيل المجسم وخصوصاً في مجال استخدام الوسائط الضوئية المتعلقة باللون والحركة للضوء في الفراغ في مصر.

#### فروض البحث

- ١- يفترض البحث التوصل إلي تقنيات جديدة تتعلق بالتطبيقات اليدوية والآلية لخامات الأكريليك.
- ٢- يفترض البحث إمكانية وضع أسس علمية للتجريب في مجال استخدام هذه الخامات تشكيمياً وإمكانية تأثيرها على المستوي الأكاديمي والبيئة المحيطة من الناحية الجمالية.

#### حدود البحث

يقتصر البحث على التجريب في مجال دراسة التقنيات اليدوية والآلية المتعلقة بالتشكيل النحتي في خامات الأكريليك.

#### منهج البحث

تجريبي - تحليلي.



# الباب الأول

## خامة الأكريليك

- مقدمة عامة عن البلاستيك
- الفصل الأول: مدخل إلى خامة الأكريليك
- الفصل الثاني: الخواص الكيميائية والبنائية لخامة الأكريليك
- الفصل الثالث: الخواص الفيزيائية لخامة الأكريليك





## مقدمة عامة عن البلاستيك

ارتبطت الحضارة عبر العصور بالمواد السائدة والمستخدمه بها. ففي العصر الحجري استخدم الإنسان أدواته وأسلحته المصنوعة من الحجارة، وفي العصر البرونزي خلط الإنسان المعادن ليصنع سبيكة البرونز التي استخدمها في حياته، وحين سيطر الإنسان على استخدام الحرارة واستخلص الحديد من خاماته صنع الأدوات الحديدية فدخل بذلك عصر الحديد. ونحن اليوم في عصر مواد البلاستيك التي تسيطر على أدواتنا، وملبسننا، ومسكننا، وكافة نواحي الحياة من حولنا — فلقد تزايد إنتاج البلاستيك حتى فاق إنتاج الحديد في الحقبة الأخيرة من القرن الماضي، ويصل الإنتاج العالمي للبلاستيك اليوم إلى ما يقرب من ٢٠٠ مليون طن سنوياً.

وعلى الرغم من أن كلمة بلاستيك — تصف حالة أكثر من وصفها لمركب بذاته — فهي مصطلح يصف كل شيء يمكن أن يتشكل بالضغط والحرارة دون أن يفقد ترابطه، ويستطيع أن يحتفظ بالشكل الجديد الذي اكتسبه — إلا أن هذا اللفظ أصبح مقصوراً على تلك الأسرة من المركبات الكيماوية والعضوية ذات الأساس الكربوني في أغلب الأحوال. ولقد اشتق اللفظ من كلمة البلاستيسين التي تطلق على نوع من الصلصال — أقرب ما يكون إلى العجين شبيهاً، ولكن سرعان ما أصبح الأسم مصدراً لمفهوم جديد لصناعة تحل محل الاهتمام العالمي مركزاً وطيداً<sup>(١)</sup>

### ماهية البلاستيك:

البلاستيك هو الاسم المعروف للمركبات الكيميائية ذات الاسم العلمي "بوليمرات" polymers والكلمة مشتقة من أصل لاتيني ذي مقطعين: "بولي Poly" وتعني عديد و"مرmer" وتعني وحدة، والمقطعان معا يكونان كلمة تعني الوحدات العديدة، وترتبط الوحدات مع بعضها بعضاً بروابط مختلفة، فتتشابك في سلسلة متصلة طويلة وكأنها حبات في عقد، ولذلك تسمى البوليمرات أحياناً بالجزئيات الكبيرة macromolecules أو الجزئيات العملاقة giant molecules.



وعادة ما تسمى البوليمرات باسم الوحدة الكيميائية الأساسية (مونمر) مسبقا بكلمة بولي، فإذا كانت الوحدة الأساسية للبلاستيك هي الأثيلين، واشتكت وحدات الإثيلين مع بعضها البعض فإنها تكون مادة "البولي إثيلين" ذات الخصائص المميزة.

ومن المثير أن خواص البلاستيك تتباين تبعا لاختلاف الوحدة الكيميائية التركيبية الأساسية، وكذلك على تراص هذه السلاسل وتوزيعها الفراغي، ولذلك فإننا نحصل من مواد البلاستيك على خصائص متباينة واستخدامات متنوعة.

### تقسيم البلاستيك:

ويمكن تقسيم المواد البلاستيكية بشكل عام طبقا لخواصها الحرارية إلى فصيلتين: الأولى؛ ويطلق عليها البلاستيك المتلين بالحرارة thermoplastic "كالأكريليك والستيرين والسليلويد" والثانية ويطلق عليها البلاستيك المتجمد (الثابت) بالحرارة thermoset مثل البكايت والميلامين واليوريا فورمالدهيد. فالمواد البلاستيكية تحوي — كما أشرنا من قبل — جزيئات عملاقة بها عناصر الكربون والأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكبريت مرتبطة فيما بينها بقوة تساهمية حيث تشارك الكترونياتا في تكوين روابط قوية، بينما تتشابه أجزاء السلسلة فيما بينها بقوة كهرواستاتيكية وقوى تجاذب ضعيفة تعرف بقوة "فان درفال" Van Der Waals.

وإذا أدى الضغط أو الشد أو الحرارة إلى تكسير قوى "فان درفال" Van Der Waals فإن الشكل يتغير، وعند انتهاء المؤثر فإن المركب يأخذ شكله الجديد ويثبت عليه حيث تتكون قوى فان درفال Van Der Waals ثانيا، كما يحدث عند شد شريط من السليلويد شدا عنيفا ولمدة طويلة. ويمكن أن تتكرر هذه العملية ثانيا بمؤثرات الضغط والحرارة ومن ثم فإننا نقول أن تلك المواد تتميز باللدانة، وتسمى المواد البلاستيكية في هذه المجموعة باسم "البلاستيك المتلين بالحرارة" — الترموبلاستيك.

أما إذا أدى الضغط أو الشد أو الحرارة إلى استبدال قوى "فان درفال" Van Der Waals الضعيفة بروابط تساهمية قوية بين أجزاء السلسلة، فإن التغيير في شكل البلاستيك يظل ثابتا ولا يتأثر بالحرارة أو الضغط مرة أخرى حيث تتميز تلك المواد بالصلابة، كما هو الحال مع شرائح البكايت مثلا. وهذه الخاصية ترجع إلى طبيعة الجزيئات العملاقة ثلاثية



الأبعاد المكونة من شبكة متداخلة من الذرات بالقوى التساهمية، وهي قوى كبيرة موجهة ف الفراغ.

وتعرف مواد البلاستيك هذه باسم "البلاستيك المتجمد بالحرارة" - الترموستيج - فإنها إذا ما سخنت لا تلين كما تفعل أفراد المجموعة السابقة وقد اكتسبت هذا الاسم من أنها تتصلب بالتسخين في أثناء صنعها ثم تحفظ بتلك الصلابة على الدوام.<sup>(١)</sup>



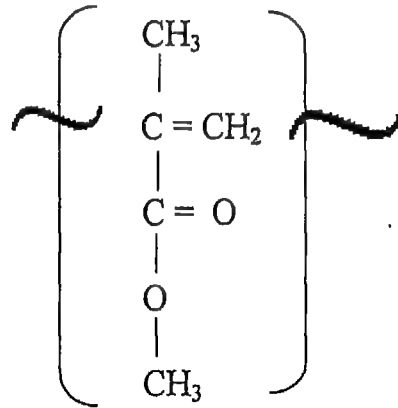
# الفصل الأول

## مدخل إلى خامة الأكريليك





يعد الأكريليك أحد فصائل خامات البلاستيك المتلين بالحرارة التي لها كثير من خصائص الزجاج، وأغلب بلاستيك الأكريليك مكون من مادة البولى ميثيل ميثاكريلات - ورمزها الكيميائى كالتالى :



وهو متواجد صناعيا - بفضل الإضافات الكيميائية - في نطاق متسع من الشفافية والألوان المعتمدة <sup>(٢)</sup>، ويعرف في إنجلترا باسم البرسبكس وفي أمريكا باسم لوسيت. والوحدة الكيميائية الأساسية لهذا البلاستيك عبارة عن سائل له رائحة الفاكهة المميزة بالأسترات <sup>(٣)</sup>.

وتوفر خامة الأكريليك خصائص متميزة لكثير من النحائين وذلك لما لها من مزايا فريدة: فينفذ منها نحو ٩٢% من جميع الأشعة المرئية من الضوء، وهي تصلح لعمل العدسات نظرا لتجانسها البصرى. ومن أهم استعمالاتها تلك التي تدخل في صناعة الأسنان والجراحات العامة، والمنشورات الزجاجية الشفافة، وعدسات الكاميرات، وزجاج الطائرات، ولوحات الإعلانات المضئية، كذلك في نقل الإضاءة الطبيعية. نظرا لشفافيتها الضوئية حيث أن معامل إنكسارها يضاهي أنقى أنواع الزجاج <sup>(١)</sup>.

ولكون المواد الأكريليكية هي مواد بلاستيك قابلة لإعادة التشكيل الحرارى، فهي تكتسب حالة مطاطية عندما تتعرض للحرارة والتسخين، ويمكن عندئذ تطويعها لتكوين العديد من الأشكال عن طريق الضغط أو اللى أو عمل أشكال بالوصل أو اللحام <sup>(٢)</sup>. وتترك مادة الأكريليك بعد تسخينها لتتصلب مرة أخرى دون أن تصيبها أي شروخ، كما يمكن تسخينها مرات عديدة دون أن يصيبها أي تغيير.



والأكريليك مادة سهلة الخدش ولذلك فإنه من المهم الحفاظ على سطحها الخارجى، ويمكن إزالة الخدوش باستخدام عمليات الصقل المختلفة، وهي تتمتع بمقاومة عالية للعوامل الجوية حيث يمكن استخدامها في التطبيقات المعرضة للهواء الجوى. ولهذه المادة أيضا خاصية مقاومة الصدمات حيث تصل مقاومتها إلى ٦ : ١٧ ضعفا مقارنة بمقاومة مادة الزجاج - وذلك حسب نوع الأكريليك المستخدم . وعلاوة على ذلك فإن مواد الأكريليك لها درجة ليونة تفوق المواد السليوليزية، كما إنها لا تتأثر بفعل الماء المغلي. ومادة الأكريليك أخف وزنا بكثير من الزجاج، ونجد أن سطحها أيضا أكثر نعومة. والأكريليك لها مقاومة عالية للقلويات والأحماض المخففة بالماء ومحاليل الأملاح المائية غير العضوية.

وتستخدم الأدوات اليدوية الخاصة بأعمال الخشب والمعادن عند التعامل مع مواد الأكريليك فهي مناسبة لإجراء كافة العمليات اللازمة لتشكيلها. ويتوفر راتنج الأكريليك في صورتين: الصورة السائلة ( مونمر، مستحلب غليظ القوام )، والصورة الصلبة ( مسحوق، خرز، كتل، أنابيب، قضبان، ألواح " ماعد الألواح الرقيقة ").

ويتطلب استخدام المونمر في أعمال النحت عناية شديدة ومعدات خاصة، ولذلك فإنه يفضل التعامل مع مادة الأكريليك في الصورة الصلبة، وعادة ما تتم معظم أعمال النحت باستخدام الألواح الصلبة والكتل والأنابيب والقضبان. " ويستخدم المسحوق لتشكيله بطريقة البثق " وهو يعرف بأسم الدياكون (٣) .

ويتراوح سمك ألواح الأكريليك المستخدمة فيما بين ١/١٦ إلى واحد بوصة (١،٦، ملليمتر إلى ٥،٢سم) بينما تتراوح أقطار الأنابيب والقضبان فيما بين ١/١٦ بوصة إلى ١٨ بوصة ( ١،٦، ملليمتر : ٥،٧سم ).

ويصنع نوعان من ألواح الأكريليك : إحداهما ذو نسبة انكماش عالية والآخر ذو نسبة انكماش منخفضة. والأكريليك ذو النسبة المنخفضة ينكمش نحو ٢،٢% في الطول، ويزيد نحو ٤% في السمك عند تسخينه، وهو أقل في التكلفة ويستخدم بكثرة في عمليات التشكيل الحراري.



# الفصل الثاني

## الخواص الكيميائية والبنائية

### لخامة الأكريليك



## بوليمرات الأكريليك :

والأكريليك الأساسى عبارة عن أسترات، تم الحصول عليها من خلال تفاعل مجموعة مختلفة من الكحولات مع حمض الأكريليك، ومنتجات الأكريليك هي بوليمرات من مشتقات حامض الأكريليك ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ ) وحامض الميثاأكريليك ( $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ ) وأهم راتنج هو البوليمر المتكون من مثيل أستر لهذه الأحماض، ويستخدم كذلك البيوتيل والأيزوبيوتين كأسترات ومشتقاتها مع الهالوجينات، والأميد، والنيتريل ومشتقات أخرى. ويعتبر بولى ميثيل ميثاكريلات من أصلب الأسترات في عائلة الميثاكريلات. ومنتجات الميثاكريلات تتميز بشفافية واضحة، ونفاذية عالية للضوء، كثافة قليلة، لزوجة تامة، صلابة عالية جدا.<sup>(١)</sup>

وبالرغم من أن كثير من هذه البوليمرات غير متوافقة مع بوليمرات أخرى من نفس المجموعة، فإن الوحدات الأساسية (المونمرات) يمكن مزجها بأي نسب ثم يتم بلمرتها، وبهذه الطريقة يمكن تحضير بوليمرات مختلفة من الميثاأكريليك ومشتقات أخرى من الأكريلات والميثاكريلات.<sup>(٢)</sup>

وفي بعض الأحيان يتم تعديل خواص الأكريليك باستخدام إضافات تشمل مواد ملدنة plasticizers، وبلاستيكات ومنتجات أخرى لإنتاج سبائك لها خواص محددة. ويتم التعديل الأساسي من خلال إضافات المطاط أو مادة بولى فينيل الكلوريد.

## تحضير حامض الأكريليك:

يمكن تحضير حامض الأكريليك من الأسيتون بإضافة حمض الهيدروسيانيك لينتكون سيانو هيدرين الأسيتون، فإذا ما عومل بحمض الكبريتيك والكحول الميثيلي تحول في النهاية إلى ميثيل ميثاكريلات، ويمكن مضاعفة المركب الأخير لإنتاج أطوال مختلفة من السلاسل<sup>(١)</sup>. وتساعد الطاقة الضوئية والحرارية والأكسجين أو المواد المؤكسدة في حدوث عملية البلمرة لأسترات الأكريليك أو حمض الميثاكريليك.



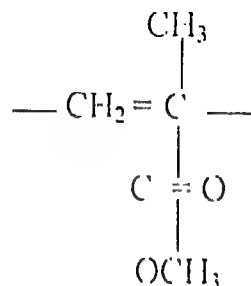


وتكون بعض هذه البوليمرات الناتجة حامدة صلبة والأخرى لينة، وينتج عن زيادة الوزن الجزيئي للكحول المستخدم الإقلال من الصلابة وقوة الشد. وتتأثر الخواص الطبيعية للبوليمر بالتركيب الكيميائي للمونمر ودرجة البلمرة. <sup>(٢)</sup>

### تحضير حامض الميثاكريليك:

يحضر حامض الميثاكريليك بأكسدة الأيزو بيوتين بواسطة حامض النيتريك وثاني أكسيد النيتروجين، والحمض الناتج سائل عديم اللون ورائحته نفاذه ويغلي عند ١٦٠°م، وأهم استرات هذا الحمض هي ميثاكريلات الميثيل وتحضر بأسترة الحامض بالكحول الميثيلي في وجود حامض الكبريتيك المركز.

ويكون الأستر الناتج على هيئة سائل عديم اللون له رائحة مميزة ويغلي عن ١٠٠ درجة مئوية، ويضاف إليها قليل من الهيدروكينون كمانع للبلمرة الذاتية أثناء فترات التخزين.



مونمر ميثيل ميثاكريلات <sup>(٥)</sup>



## الخواص البنائية والكيميائية

تعتبر الخواص البنائية والتركيب الكيميائي، من أهم العوامل التي تؤثر على سلوك مواد البلاستيك — خاصة المواد التابعة للتشكيل الحراري (الثرموپلاستيك). فنجد أن الخواص الطبيعية للبوليمر تتأثر بشكل السلاسل الجزيئية التي تتكون منها هذه المواد، والهيئة البلورية، ونوع الروابط بين الجزيئات، والتركيب الهندسي للجزيئات، ونسبة الرطوبة.

### أولاً : الخواص البنائية

#### ١ - الهيئة البلورية

هو أحد الخواص البنائية الهامة التي تؤثر على سلوك الثرموپلاستيك، ومن المستحيل للدائن أن تتبلور بصورة كاملة مثل المعادن. ويرجع هذا إلى صعوبة انتظام وضع كل جزيئية من السلاسل في وضعية منتظمة، وعلى هذا فإن خاصية التبلور في الدائن تنحصر في تجمعات من الجزيئات المتبلورة محاطة بتجمعات أخرى من المادة في صورتها غير المتبلورة . amorphous

ويعتمد التبلور على ترتيب الجزيئات في شكل متكرر وقوى الجذب بين الجزيئات. وقد يعوق ترتيب الجزيئات وجود مجموعات وظيفية كبيرة تمنع تقاربها من بعضها البعض أما إذا كان الجزيء المتكرر في البوليمر لا يحتوي على مجموعات جانبية (فرعية) كبيرة، فإن السلاسل تقترب من بعضها، وهذا يزيد من قوة الجذب بين الجزيئات، ويعضد من فرصة انتظام السلاسل في شكل متكرر فنجد أن البوليمرات ذات السلاسل الطولية Linear polymers يمكن أن تتبلور أكثر من البوليمرات ذات التكوين المتشعب branched polymers.

وتتراوح نسبة التبلور بين أنواع البلاستيك تبعاً لإمكانية تراصها بانتظام، فقد تكون منخفضة جداً كما في البولي ستيرين أو متوسطة مثل البولي إيثيلين وقد تصل إلى درجة تبلور عالية كما في رباعي فلورو الإثيلين (التيفلون) وأنواع من النيلون.



وترتفع درجة انصهار المواد البلورية، كما تزداد كثافتها كلما زادت درجة البلورية، وكذلك تتحسن الخواص الميكانيكية للبوليمرات المتبلورة، ولكن تقل مقاومتها للصدمة وتقل درجة ذوبانها ويقل نقائها البصري.

جدول (١) يوضح التبلور والشفافية في البوليمرات المختلفة

البوليمر	التركيب البنائي	التبلور	الشفافية
بولي إيثيلين	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	متوسط - عالي	معتم ماعدا الشرائح الرفيعة
بولي بروبيلين	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	متوسط	غامق Cloudy
بولي ستيرين	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$	قليل جدا	شفاف
بولي كربونات	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	قليل	شفاف
بولي مثيل الميثاكريلات	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_3 \end{array}$	قليل جدا	شفاف

(١)

## ٢ - امتصاص الرطوبة

يمكن أن ينقسم امتصاص البوليمرات للرطوبة إلى نوعين: امتصاص جزيئي molecular وامتصاص مسامي porosity .



يعتمد الامتصاص الجزيئي مباشرة على الذرات المكونة للبوليمر. أما بالنسبة للامتصاص المسامي يكون واضحاً فقط في البوليمرات المتكاثفة condensation polymers مثال الفينولات. ويمكن استخلاص الآتي:

- ١- الكربون والهيدروجين والفلورين ليس لهم قدرة على امتصاص الرطوبة.
- ٢- الأكسجين والكلورين تساعد بعض الشيء على امتصاص الرطوبة.
- ٣- النيتروجين يزيد من قدرة البوليمر على امتصاص الرطوبة بطريقة واضحة، ويوضح جدول (٢) وسيبين شكل (١) مسار امتصاص الرطوبة في النيلون العلاقة بين القدرة على امتصاص الرطوبة والتركيب البنائي للبوليمر.

جدول (٢) يوضح تأثير التركيب الذري على قدرة امتصاص الرطوبة في البوليمرات:

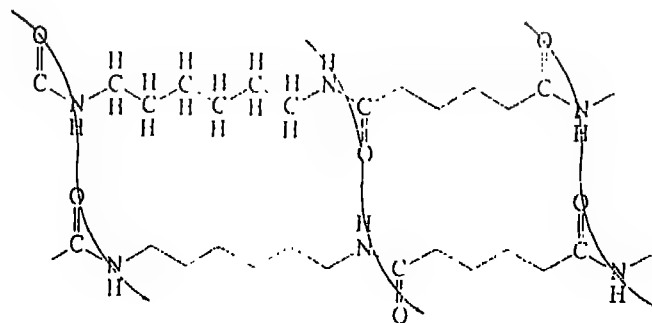
Moisture absorbtion امتصاص الرطوبة	Typical examples أمثلة من البوليمرات	Atoms المكونات الذرية
قليل جداً > ١ %	بولي اثيلين - بولي بروبيلين	C , H
قليل > ٥ %	أكريليك	C , O , H
عالي < ٨ %	نيلون	C , N , O , H

#### تأثير الرطوبة على الخواص

يزداد الحجم مع زيادة نسبة امتصاص الرطوبة، كما تقل الصلابة والقوة مع ازدياد الرطوبة في الترموبلاستيك، ويتضح هذا في النيلون الذي ذكرنا آنفاً في الجدول السابق قدرته على الاحتفاظ بنسبة عالية من الرطوبة. كما تؤثر هذه الخاصية على الخواص الكهربائية للمادة حيث تقل المقاومة الكهربائية مع ازدياد نسبة الرطوبة<sup>(٧)</sup>.







شكل (١) مسار امتصاص الرطوبة في النيلون حيث يساعد  
وجود النيتروجين على بلوغها ٨%



## ثانيا : الخواص الكيميائية

### أ-البلمرة

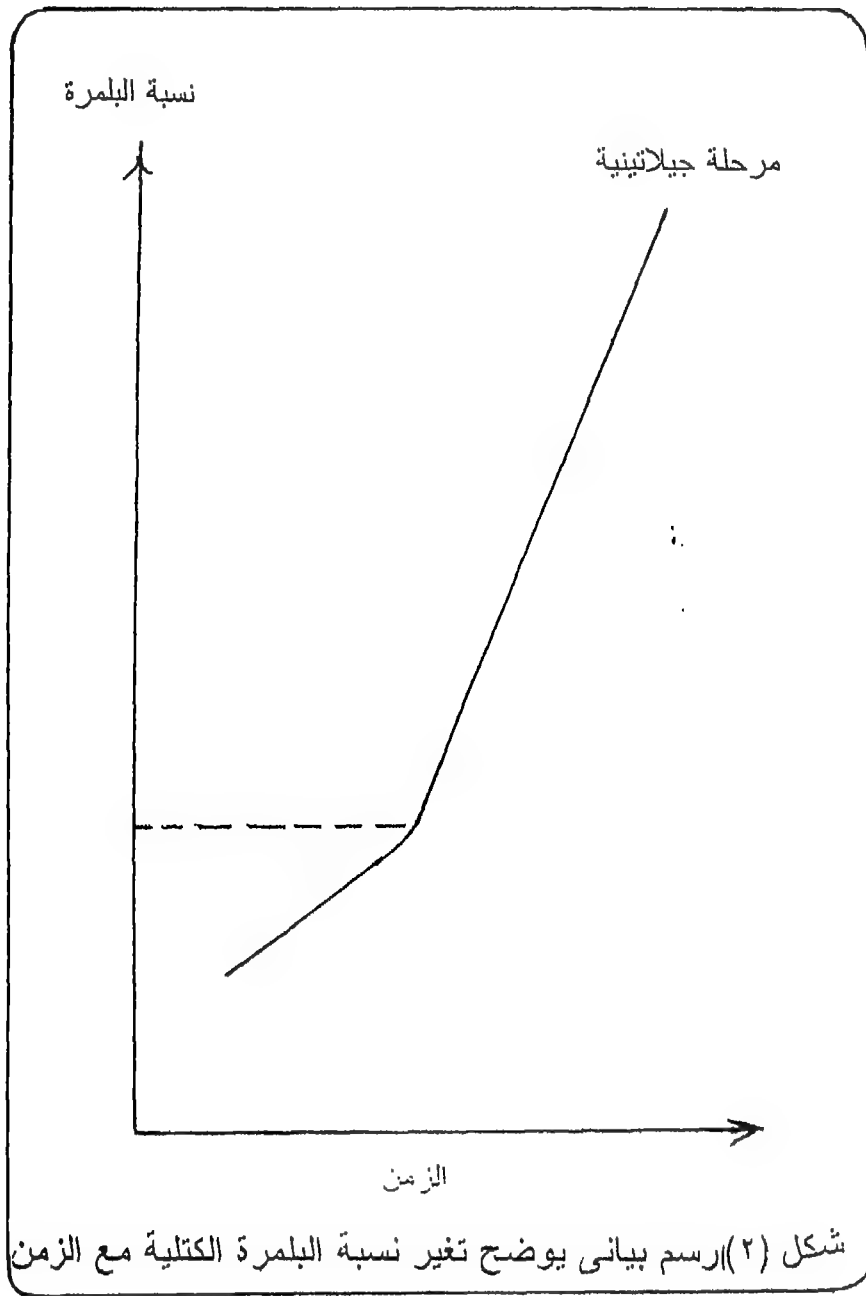
تتكون البوليمرات عن طريق التفاعل الكيميائي المعروف بالبلمرة، وهو تفاعل تبني فيه السلسلة الطولية بإضافة الأحاديات ( المونمر ) إلى بعضها، ومن أمثلة ذلك متعدد ميثيل الميثاكريلات. ويتم ذلك في وجود درجة حرارة وضغط مناسبين، وتحت تأثير المواد الحفزية للتفاعل، حيث يحدث ترابط لعدد من الجزيئات غير المشبعة لتكوين جزيئ طويل، وبزيادة طول الجزيء تتميز الخواص الفيزيائية والكيميائية للبوليمر، فيمكن أن يتحول المونمر الغازي مثل الإثيلين إلى سائل، وباستمرار التفاعل وزيادة طول الجزيء يتحول السائل إلى جامد ويؤدي زيادة الوزن الجزيئي للبوليمر إلى إختلاف خواصه المختلفة. وتتم البلمرة بعدة طرق يرجع اختلافها أساسا لإنتاج أطوال مختلفة من السلاسل. ويحضر بوليمر الأكريليك بلمرة ميثيل ميثاكريلات بطرق البلمرة المختلفة على هيئة بلمرة المونمر السائل ككتلة واحدة، أو إذابة المونمر ليكون محلولاً في مذيب عضوي مناسب، أو مزيج معلق أو مستحلب في الماء، ولكن تبقى بلمرة المحلول النقي ( البلمرة الكتلية ) أكثر الطرق استخداماً<sup>(٥)</sup>.

### ١ - بلمرة المحلول النقي ( البلمرة الكتلية )

أكثر الطرق استخداماً في صناعة الألواح والقضبان وهي تعطي سلاسل تحتوي من ١٨٠٠ إلى ٣٠٠٠ وحدة متكررة حيث تتم بلمرة المونمر جزئياً في وجود فوق أكسيد عند ٩٠ درجة مئوية لمدة عشرة دقائق، ثم يبرد السائل الناتج ليصل إلى درجة الحرارة العادية، ويتم إضافة المواد الملونة والملدنة ومضادات الأشعة فوق البنفسجية وغيرها من الإضافات لتحقيق الخواص المرغوبة في الاستخدام وتخلط جيداً، ويكون الناتج في هذه الحالة على هيئة سائل غليظ القوام يحتوي على نحو ٢٠٪ من وزنه من البوليمر مازال ذائباً في المونمر، ويصب السائل بعد ذلك في قالب التشكيل وترفع درجة حرارته تدريجياً إلى ٤٠ درجة مئوية ثم إلى ٩٥ درجة مئوية لإتمام عملية البلمرة<sup>(٣)</sup> وعند بلمرة ٢٠٪ من الكتلة يزيد معدل التفاعل بطريقة طردية وسريعة حتى تصل الكتلة إلى المرحلة الجيلاتينية عند حوالي ٨٥ ٪ من تمام عملية البلمرة وعند هذه المرحلة تصبح عملية البلمرة بطيئة مرة أخرى. شكل (٢).



- ٢٠ -





ويلاحظ حدوث نسبة انكماش كبيرة في الحجم تصل إلى ٢١ ٪ أثناء عملية إتمام البلمرة - وهذا التفاعل معروف بأنه طارد للحرارة فيصاحبه إطلاق كمية من الحرارة.

ويمتاز البوليمر المحضر بهذه الطريقة بوزن جزيئي مرتفع جدا حيث يصل متوسطه إلى مليون ( وحدة ذرية لكل جزيء ) . وتتميز الأنواع ذات الوزن الجزيئي العالي بمعدلات لزوجة عالية وسيولة أقل للمادة المنصهرة، كما تتميز بقوة أكبر أثناء التشغيل، وتقاوم حدوث الشروخ عند الحقن بينما تتميز الأنواع ذات الوزن الجزيئي الأقل، بازدياد سيولة المادة المنصهرة، وتستخدم لتشغيل الأشكال المعقدة في القوالب ذات الشكل المعقد.

ويمكن حفظ المونمرات المحتوية على البوليمر على هيئة سائل لزج غليظ القوام بطريقة آمنة وبدون تغير في خواصها إلى حين الاحتياج لها، وذلك بالتحكم في نسبة البوليمر الموجودة بها.

ومن مميزات السائل بهذه الصورة:

- ١- لا ينسكب من الفواصل في القالب.
- ٢- التقليل من زمن البلمرة الكاملة داخل القالب ويمكن إعداد هذا السائل بالقوام المناسب المذكور بإذابة كمية محسوبة من البوليمر في كمية المونمر المطلوب.<sup>(١)</sup>

## ٢- البلمرة في المحلول

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج البوليمرات حيث تتم إذابة المونمر في مذيب عضوي مثل البنزين والتولوين أو الإيثيل ميثيل الكيتون، ويستخدم الناتج مباشرة في إنتاج بعض مواد الطلاء حيث يحتوى على ٤٠ - ٦٠ ٪ من البوليمر في المذيب بالإضافة إلى العديد من الاستخدامات الأخرى.

## ٣- البلمرة على هيئة معلق في وسط مائي

تستخدم هذه الطريقة في تحضير مادة على هيئة كريات دقيقة تجمع ويتم غسلها وتجفيفها وتصلح للتشكيل بالحقن أو بالبتق، كما تستخدم كذلك في تحضير عجائن تصنيع أطعم الأسنان ويصل متوسط الأوزان الجزيئية للبوليمر المحضر بهذه الطريقة إلى حوالي ٦٠ ألفا.





## ب- تأثير المذيبات

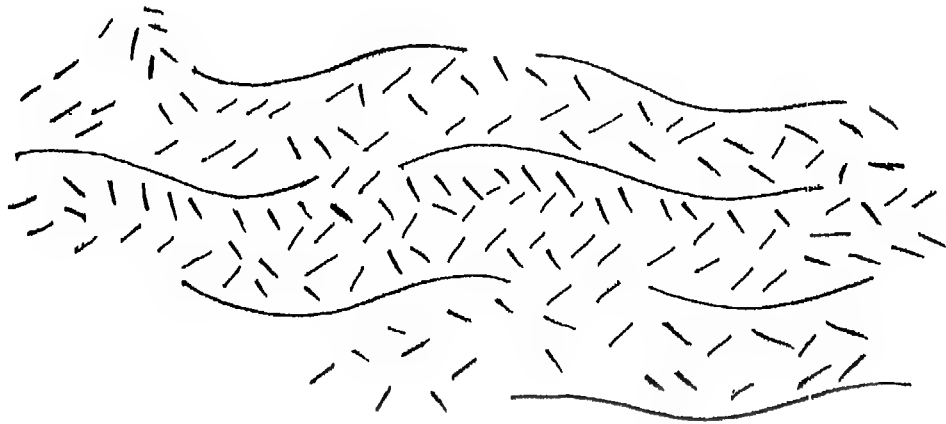
تؤثر المذيبات على الترموبلاستيك والثرموسيت والمطاط بطرق مختلفة، فالثرموبلاستيك عموماً يذوب في المذيبات السائلة كثر بوليمر، حيث يقوم المذيب بفصل السلاسل مكوناً محلولاً بعد أن يأخذ الكفاية من المذيب شكل (٣).

وتذوب مادة الأكريليك في الهيدروكربونات العطرية مثل البنزين والتولوين والبارافينات المكلورة مثل الكلوروفورم وثنائي كلوريد الإثيلين والأسترات مثل خلات الإثيل، كما أنها تتصدع ويحدث بها شروخ وشقوق إذا عرضت للكحولات الأليفاتية أو الأمينات العضوية، ولكنها تقاوم تأثير الأحماض والقلوبات، ومحاليل الأملاح المائية، ماعدا حامض الهيدروفلوريك وكذلك الأحماض المؤكسدة المركزة حيث تهاجم جزيئات البوليمر وتكسر سلسله<sup>(٥)</sup>.

وتتوافق راتنجات الأكريليك مع النيتروسيلولز والملدنات الكيميائية مثل dibutylphthalate و tricresyl phosphate. ولا تتوافق مع الزيوت القابلة للجفاف والورنيشات ومعظم راتنجات الألكيد وبعضها يتوافق مع إثيل السيلولز وبدرجة محدودة مع اسيتات السيلولز.

وتعتبر نفاذية ألواح الأكريليك للماء منخفضة، ويمكن غمرها في محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠٪ أو محلول ٤٠٪ حامض كبريتيك أو ٥٪ من حامض خليك لمدة ٢٤ ساعة بدون أن تتأثر<sup>(١٠)</sup>.





شكل (٣) رسم يوضح تأثير المذيبات على الترموبلاستيك



# الفصل الثالث

## الخواص الفيزيائية

### لخامة الأكريليك



## الخواص الحرارية

وترجع خاصية البلاستيك القابل للتشكيل حرارياً (الثرمو بلاستيك) إلى إمكانية تليدينها بالحرارة إلى واقع القوة الرابطة بين الجزيئات حيث تكون قوية بين أجزاء السلسلة الكيميائية والمكونة من الوحدات الكيميائية (المونمرات) بينما أن القوة الرابطة فيما بين السلاسل المعروفة بقوى "فان درفال" Van Der Waals ضعيفة (أقل بنحو مائة مرة) شكل (٤)، مما يسهل إنزلاق السلاسل فوق بعضها البعض عند التسخين أما مواد البلاستيك المتصلبة بالحرارة (الثرموست) هي مواد متبلرة ذات هيكل تكويني نشأت في داخله روابط تساهمية قوية بين السلاسل حيث لا تسمح بالانزلاق بين هذه السلاسل، ويمكن تصور هذه المتبلرات كأنها جزيء واحد ثلاثي الأبعاد كبير الحجم، (شكل ٥) (٧).

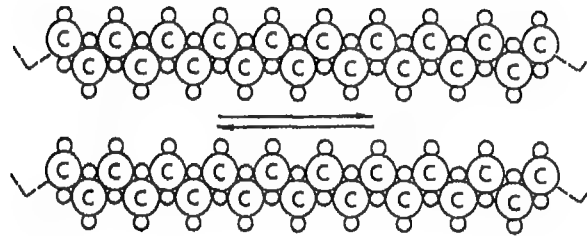
وعند تسخين البلاستيك القابل لإعادة التشكيل بالحرارة - (الثرمو بلاستيك) - تبدأ الجزيئات والذرات في التذبذب بسعة إحتزاز أكبر، مما ينتج عنه تمدد السلاسل واستطالتها حيث تتلاشى قوى "فان درفال" Van Der Waals الضعيفة ويصبح من السهل حدوث الانزلاق بين السلاسل التي كانت ممسوكة بتلك القوى. وتصبح الخامة أقرب إلى سائل شديد اللزوجة، وذلك على عكس ما يحدث في أنواع البلاستيك الثابتة بالحرارة (الثرموست) حيث تتكون بين السلاسل روابط كيميائية تساهمية قوية تحافظ على الشكل ولا تسمح بإعادة تشكيله، وهذه الروابط لا تتفكك بسهولة إلا إنها قد تتعرض للكسر تحت قوى ميكانيكية كبيرة ويمكن أن تتحلل المادة حرارياً إلى نواتج كربونية أو غيرها. (٦)

ويمكن تلخيص الخواص الحرارية في النقاط التالية:

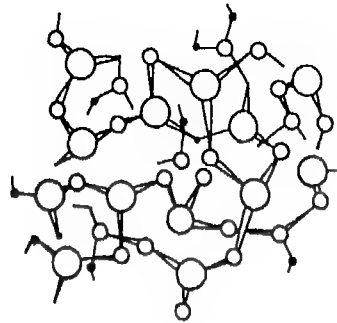
- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| Heat Resistance                  | ١- مقاومة الحرارة       |
| Thermal conductivity             | ٢- الموصلية الحرارية    |
| Specific heat                    | ٣- الحرارة النوعية      |
| Coefficient of thermal expansion | ٤- معامل التمدد الحراري |
| Flammability                     | ٥- القابلية للاشتعال    |
| Melt index                       | ٦- معامل الانصهار       |
| Glass transition point           | ٧- نقطة التحول الزجاجي  |







شكل (٤) الانزلاق بين جزيئات الترموبلاستيك



شكل (٥) يوضح استحالة حدوث الانزلاق بين جزيئات الترموستنج بلاستيك



## ١ - مقاومة الحرارة Heat Resistance

تتراوح درجة الحرارة القصوى التي يمكن أن تتحملها مادة البولي ميثيل ميثاكريلات لفترات طويلة ما بين ١٨٠ - ٢٠٠ درجة سلسيوس (منوية)، ويمكن أن تتأثر هيئة المادة في حالة تعرضها لدرجات حرارة تزيد عن ذلك لفترات زمنية قصيرة. وفي العادة تزيد قوة وصلابة المواد البلاستيكية وتفقد مرونتها عند درجات الحرارة المنخفضة عندما تتجاوز نقطة التحول الزجاجي حيث تصبح هشة وقابلة للكسر كالزجاج<sup>(١١)</sup>.

إلا أن مادة الميثيل ميثاكريلات لا تتأثر بالبرودة في الدرجات المعتادة ولا ينتج عنها شروخ أو تشققات.

## ٢ - الموصلية الحرارية Thermal conductivity

هو معدل انتقال الطاقة الحرارية من جزيء إلى آخر في السلسلة الكيميائية وكتلة البلاستيك. وعادة ما يميز بالواط لكل درجة حرارة لكل متر، ومن المعروف أن المواد البلاستيكية عموماً لها خواص عازلة حرارياً حيث يقل معامل التوصيل الحراري للوح من البولي ميثيل ميثاكريلات سمكه ٢٠% عن مثيله من الزجاج<sup>(١٢)</sup>.

جدول (٣) يوضح أن معامل التوصيل الحراري للأكريليك يقل كثيراً عن معامل التوصيل الحراري للمعادن والزجاج والخشب:

جدول (٣) - معامل التوصيل الحراري لبعض الخامات التشكيلية

الخامة	معامل التوصيل (K - factor) W/K.m
أكريليك	١٨ ,
الألومنيوم	١٢٢
النحاس	١١٥
الحديد	٤٧
الزجاج	٨٦ ,
الخشب	١,١٧



### ٣- الحرارة النوعية Specific heat

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة وزنية ( جرام من المادة ) درجة واحدة كلفن أو سلسيوس .

Thermal Conductivity	Thermal Receptivity	Thermal Conductivity
الموصلية الحرارية	القابلية الحرارية	الموصلية الحرارية
( K – Factor ) W/K.m	( R – Factor ) K.m/W	Btu.in / hr.ft <sup>2</sup> . °F
0.18	5.55	1.3

طرق التعبير عن الموصلية الحرارية، معامل القابلية الحرارية

في عمليات التكرار الكمي هذا المعامل له أهمية في حساب التكلفة اللازمة لعمليات تشكيل الأنواع المختلفة من البلاستيك.

### ٤- معامل التمدد الحراري Coefficient of thermal expansion

يلاحظ أن معامل التمدد الحراري لمادة البولي ميثيل ميثاكريلات من أكبر معاملات التمدد الحراري لمواد البلاستيك باستثناء مادة بولي فينيل الكلوريد، ويعنى ذلك تمدده فيما بين ٥٤ - ١١٥ جزء في المليون لكل درجة حرارة.

وقد يؤثر زيادة التمدد الحراري للمادة على استخدامها في بعض التطبيقات، وقد يقتضي الأمر الإقلال من معامل التمدد الحراري حيث يمكن خلط المادة البلاستيكية ببعض المواد أو المركبات المألثة ( Fillers ) وهي مواد خاملة كيميائيا ولها خواص تتواءم مع الاستخدام المطلوب<sup>(١)</sup>.



## ٥- القابلية للاشتعال Flammability

هي إحدى الخواص التي تحدد مدى قابلية المادة للاشتعال، وتقاس بالزمن الذي يتم فيه إنهاء الاشتعال بعد إبعاد المصدر الحراري المسبب للاشتعال، كما يمكن أن تقاس قابلية المادة للاشتعال بكمية المادة المفقودة خلال هذه العملية.

وتعتبر المركبات القابلة للتفحم — مثل المركبات الحلقية، المحتوية على روابط عديدة — أقل قابلية للاشتعال مقارنة بالمركبات التي تحتوي على ذرات الأكسجين والهيدروجين حيث تزيد من قابلية المركبات للاشتعال. ومن ناحية أخرى فإن احتواء المركب على مركبات الهالوجينات (الفلور، البروم والكلور وكذلك مركبات الفوسفور) تقلل من قابليته للاشتعال.<sup>(١٣)</sup>

كما يلاحظ أن مركبات البلاستيك المحتوية على روابط عرضية كيميائية — أي المواد المتصلبة حرارياً (ثرموست) — تقاوم الاشتعال أكثر من مواد الثرموبلاستيك الأخرى، ويرجع ذلك إلى حاجة مواد الثرموست إلى طاقة حرارية أكبر لفصل الروابط الجانبية بين السلاسل وتحليل المادة إلى المركبات القابلة للاشتعال.

وهناك العديد من أنواع البلاستيك التي يحدث لها انطفاء ذاتي self-extinguishing، حيث لا يستمر احتراق البلاستيك بعد زوال اللهب، إلا أن أغلب أنواع البلاستيك تحترق عند تعرضها للهب مباشر.<sup>(١٦)</sup>

وألواح البولي ميثيل ميثاكريلات تحترق ببطء عند تعرضها للهب في الهواء الجوى المعتاد ١,٢٧ — ٤٥٧ سم/دقيقة. ويجب التعامل معها كأي مادة قابلة للاحتراق مثلها مثل الخشب. ودرجة الاشتعال الذاتي self ignition لهذه المادة تتراوح بين ٤٥٠ — ٤٦٢ درجة مئوية وأما عند تعرضها للهب مباشر، فتصل هذه الدرجة إلى ما بين ٢٨٨ — ٢٩٩ درجة مئوية. بينما أن درجة اشتعال الأكريليك أعلى من معظم أنواع الأخشاب، فإنه يشتعل بقوة وبعنف ويتولد عن ذلك حرارة سريعة. والنواتج الأولية لاشتعال الأكريليك هي أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون ولا يولد إحتراقه كثيراً من الأدخنة السامة أكثر من التي يولدها الخشب أو الورق.<sup>(١٣)</sup>





## ٦- اللزوجة أو معامل الانسياب Melt Flow index

تعتبر اللزوجة وخواص الانسياب، من العوامل الأساسية في عمليتي تصنيع (تشغيل) البلاستيك وتصميم القوالب. ويعرف معامل الانسياب بأنه كمية المادة التي يمكن بثقبها من ثقب صغير في خلال زمن عشر دقائق تحت ضغط 43.5 psi 300 kpa . وكلما زادت قيمة معامل الانصهار دل ذلك على انخفاض لزوجة المادة، وبحسب بالجرام لكل عشر دقائق، وتعتبر المواد ذات الوزن الجزيئي الكبير عموماً لديها مقاومة أكبر للانسياب.

## ٧- درجة حرارة الكسر Brittle Temperature

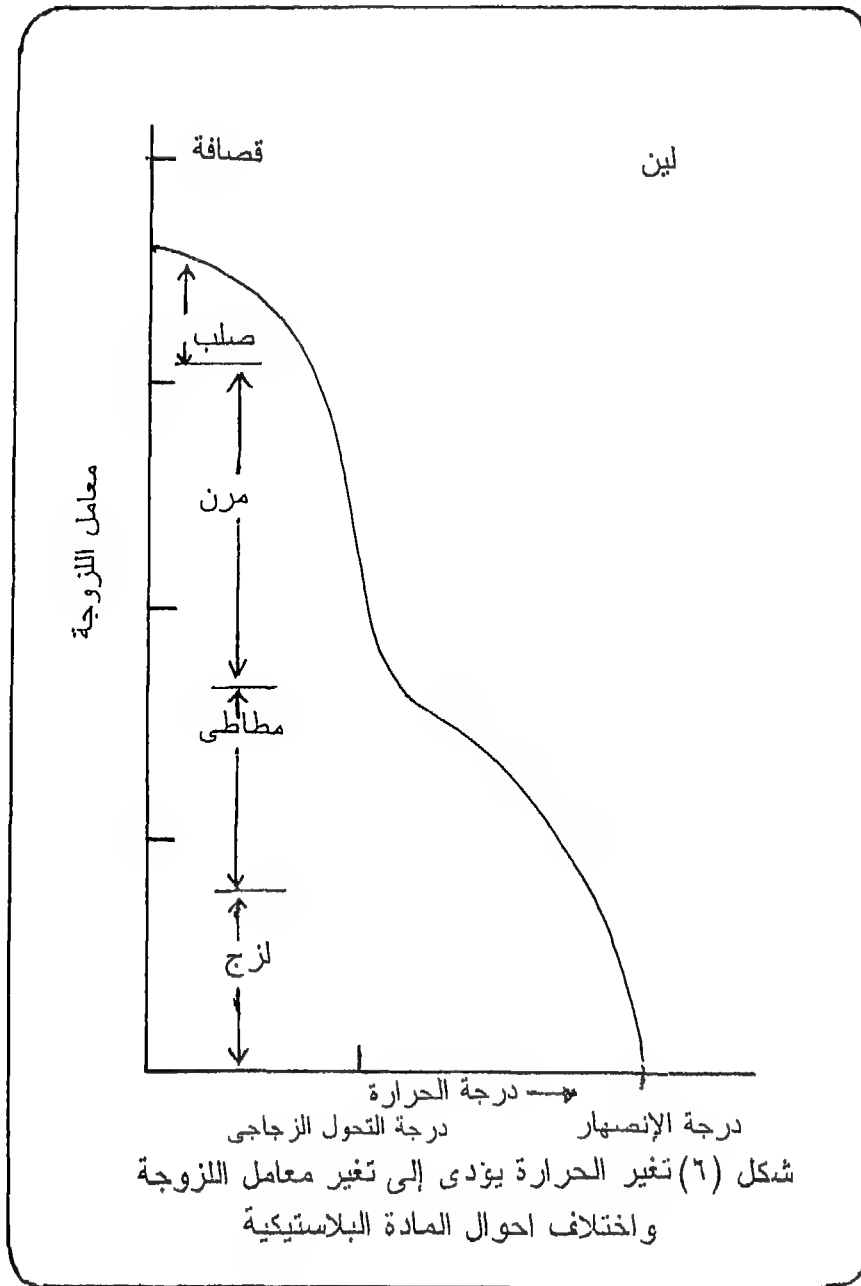
هي درجة الحرارة التي تفقد فيها مادة الترموبلاستيك قدرتها على مواصلة الانتشاء والاستجابة للقوى الميكانيكية الواقعة عليها ويؤدي الاستمرار في الانتشاء يؤدي إلى الكسر. ويمكن قياس هذه الدرجة بالتعامل مع لوح الترموبلاستيك وتسخينه عند درجة الليونة ومحاولة قياسها مع التبريد تدريجياً وعند انخفاض درجة الحرارة، يتم قياس هذه الدرجة التي لا يمكن للوح قبول الانتشاء عندها وألا يحدث الكسر.

## ٨- نقطة التحول الزجاجي Glass transition point

هي درجة الحرارة التي تتحول فيها المادة البلاستيكية من الحالة الصلبة إلى الحالة اللدنة. وتكون المادة صلبة قبل هذه الدرجة مناسكة، وتصبح المادة قابلة للتشكيل بعد هذه الدرجة.<sup>(٦)</sup>

ويمكن قياس درجة التحول الزجاجي بطريقة بسيطة بجهاز لقياس ضغط إبرة على سطح المادة البلاستيكية وهي في حالة الليونة الكاملة، ثم تبريد هذه المادة تدريجياً وقياس الضغط اللازم لدفع الإبرة في الكتلة ثم تحديد هذه القياسات بواسطة رسم بياني حيث يظهر (شكل ٦) ومن هذا الشكل يتضح أن المادة تكون لدنة عند حرارة معينة، كما تصبح صلبة عند درجة حرارة أخرى، وبين هاتين النقطتين هناك مدى حراري قد يصل إلى عدة درجات مئوية تتم فيها عملية التحول، ويختلف هذا المدى الحراري طبقاً للوزن الجزيئي للبولىمر، حيث أنه كلما زاد الوزن الجزيئي زاد مدى التحول الحراري. وتكون نقطة التحول الزجاجي للبولى ميثيل ميثاكريلات ١٠٥ درجة مئوية.







## الخواص البصرية

بما أن كثير من البلاستيكات لديها خصائص بصرية متميزة فإنه يمكن تقسيم هذه الخصائص فيما يتعلق بالضوء كالآتي:

### ١- شفافة Transparent

حيث ينفذ الضوء ويمكن الرؤية من خلالها.

### ٢- نصف شفافة Semi transparent

ينفذ الضوء من خلالها ولا يمكن الرؤية من خلالها.<sup>(٦)</sup>

### ٣- معتمة opaque

حيث لا ينفذ الضوء من خلال المادة، وبالتالي لا يمكن رؤية الأجسام من خلفها. والمادة الشفافة هي تلك التي لا تمتص من الضوء إلا القليل جدا من الطيف المرئي، كما أن الامتصاص الانتقائي للضوء لمادة معينة يكسبها اللون، وبوجه عام فإن المواد التي توجد بذراتها إلكترونات حرة تكون معتمة لأن الإلكترونات الحرة تمتص الطاقة الضوئية.<sup>(٦)</sup> وتتعلق الخواص البصرية بالبناء الجزيئي للمادة مثل الروابط الكيميائية والبلورية، وعلى هذا فإن الخواص الكهربائية والحرارية والضوئية للبلاستيكات متعلقة ببعضها البعض. فخواص اللمعان، و البريق، والشفافية، واللون، والنقاء، والانكسار هي بعض من الخواص الضوئية العديدة الهامة للبلاستيك.

إن الخواص العاكسة للضوء لسطح البلاستيك تسمى اللمعان والبريق بينما المظهرية الغمامية تسمى Haze.

ويمكن تلخيص الخواص الضوئية للبلاستيك في نقطتين :

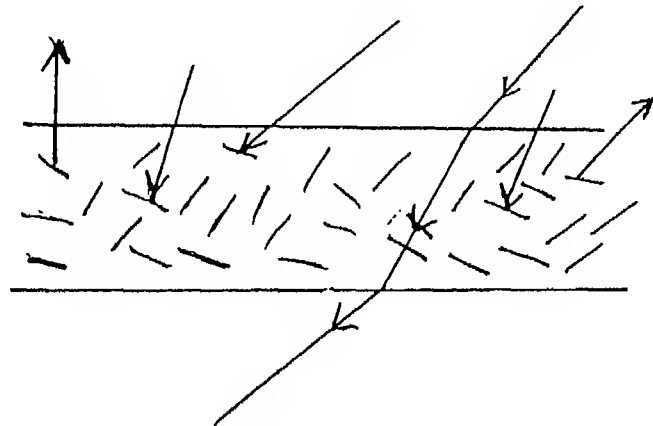
#### ١- الشفافية

#### ٢- معامل الانكسار

### ١- الشفافية Transparency

هي معيار لدرجة التبلور، فالبوليمرات غير المتبلورة مثل الاستيرين والبولي ميثيل أكريلات، تتميز بشفافية عالية جدا، وتعتبر نسبة شفافية البولي ميثيل ميثاكريلات عالية نسبيا مقارنة بالعديد من مواد البلاستيك الأخرى بينما تتراوح شفافية العديد من مواد البلاستيك بين النصف شفاف والمعتّم حيث يرجع ذلك إلى نسبة التبلور (التيفلون على سبيل المثال معتم تماما حيث أن درجة تبلوره تصل إلى ٦٠%) (شكل ٧) يوضح درجة التشّت الضوئي في البلاستيكات المتبلورة.<sup>(٧)</sup>





شكل (٧) التشتت الضوئى فى البلاستيكات المتبلورة





## ٢- معامل الانكسار Index of Refraction

عند نفاذ شعاع ضوئي في مادة شفافة فإن جزء من الضوء ينعكس والجزء الآخر ينكسر (عند نفاذه من المادة) .

ويعتمد معامل الانكسار (n) على كل من زاوية السقوط (i) والانكسار عند نفاذ الضوء في المادة (r)

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

ومعظم البلاستيكات الشفافة معامل انكسارها ١,٥٠ تقريباً وهي ما يوازي تقريباً معامل انكسار الزجاج، ويبلغ معامل انكسار البولي ميثيل ميثاكريلات ١,٤٩ ويوضح الجدول (٤) أن درجة شفافية البولي ميثيل ميثاكريلات عالية بالنسبة لكثير من المواد البلاستيكية الأخرى الشفافة حيث تصل نفاذية للضوء ٩٤%.

جدول (٤) معامل الانكسار ونسبة الشفافية لبعض أنواع البلاستيك

الخامة	معامل الانكسار	نسبة الشفافية
البولي ميثيل ميثاكريلات	١,٤٩ >	٩٤%
أسيات السليلوز	١,٤٩	٨٧%
بولي فينيل كلوريد استات	١,٥٢	٨٣%
بولي كربونيت	١,٥٩	٩٠%
بولي ستيرين	١,٦٠	٩٠% (١)

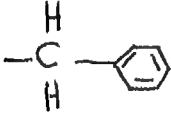
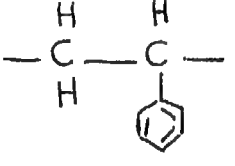
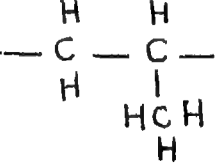
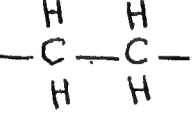
## الخواص الميكانيكية

تتأثر الخواص الميكانيكية للثرموبلاستيك بشكل السلاسل الجزيئية التي تتكون منها هذه المواد، فنجد أن البوليمرات الخطية linear polymers تكون أكثر مرونة مقارنة بالمبتلمرات ذات التكوين الحلقى حيث تؤثر المجاميع الحلقية الجانبية تأثيراً كبيراً على الخواص الميكانيكية (جدول ٥).



### جدول (٥) يوضح تأثير البناء الكيميائي على الخواص الميكانيكية

لبعض أمثلة من خامات البلاستيك

حلقة داخل السلسلة الرئيسية	حلقات جانبية	مجموعات جانبية	سلسلة خطية	التركيب البنائي
				
Hard – tough Low Creep	Hard – Brittle Low Creep	Hard – tough زحف متوسط	لدن – صلب زحف على high creep	الخواص الميكانيكية
بولي أستير	بولي ستيرين	بولي ميثيل ميثا كريلات	البولي إيثيلين	أمثلة من الخامات

فالسلاسل الخطية تكون عادة عرضة للزحف creeping والاستجابة yielding تحت تأثير الأحمال، حيث يحدث ذلك نتيجة انزلاق السلاسل نتيجة لكسر قوى الترابط الضعيفة بين هذه السلاسل، ويمكن نشوء قوى جذب جديدة بعد انزلاق هذه السلاسل وإزالة الأحمال. أما المجاميع الجانبية والحلقية في السلاسل فلها تأثير مقاوم لانزلاق السلاسل، حيث تتشابك السلاسل مع بعضها بعضا بشكل أقوى، ويرجع ذلك إلى إعاقه المجاميع الجانبية لعملية الإنزلاق. وتضيف زيادة قوة جذب "فان درفال" Van Der Waals بين هذه المجموعات والسلاسل الأخرى قدرا من القوة والمتانة إلى البوليمر<sup>(٧)</sup>.

ويمكن تلخيص الخواص الميكانيكية للثرموبلاستيك في النقاط الآتية:

- ١- تأثير الصدمة.
- ٢- الاستجابة - الخضوع.
- ٣- الشروخ الناتجة عن الضغوط.
- ٤- مقاومة الشد.
- ٥- الجسأة.



٦- المتانة.

٧- الصلابة.

٨- معامل المرونة.

#### ١- تأثير الصدمة

يكون تأثير الصدمة طبقاً للتركيب البنائي للبلاستيك نفسه، فإن نوع معين من الثرموبلاستيك على شكل رقائق سيكون أكثر قوة من حالته في شكل قطاع سميك، فعند سحب البوليمر على شكل خيوط فإن الجزيئات تنتظم في اتجاه السحب، وهذه الحالة ينتج عنها متانة عالية جداً كما تعطى مقاومة كبيرة للصدمات في اتجاه توجه الجزيئات، لذا فإن البوليمر حيث يتم سحبه إلى الياف يكتسب قوة ميكانيكية عالية حيث تتميز هذه الألياف بمتانة أعلى من البوليمر في حالته الصماء.<sup>(١١)</sup>

وهناك أنواع من الأكريليك تصنع خصيصاً بمواصفات بعض أنواع المطاط وهذه النوعيات تتحمل عشرة أمثال الصدمات التي تتحملها الأنواع القياسية، وتتاح هذه الأنواع على شكل الواح أو عجائن، حيث يتم إضافة المواد المعدلة لخصائصها وتعتبر مقاومة مواد الأكريليك للكسر أكبر من مقاومة الزجاج بحوالى من ٦ إلى ١٧ مرة في السمك الذي يتراوح فيما بين ٣٢، إلى ٦٤ ملليمتر. وعندما تتعرض مادة الأكريليك لصدمات تفوق قدرتها على المقاومة فإن مخاطر الإصابة للموجدين في مكان الحادث تكون غير حادة، وذلك نتيجة لكسره إلى قطع كبيرة الحجم (على عكس الزجاج) ذات حواف غير حادة، كما أن سرعة انتشارها وتناثرها تقل عن سرعة كسر الزجاج مما يقلل من تلك المخاطر.<sup>(١٢)</sup>

#### ٢- الاستجابة - الخضوع

يمكن أن تقاس نقطة القطع بقياس كمية الطاقة المطلوبة بكسر عينة من المادة وسيظهر انخفاض حاد في درجة الصلابة عند نقطة محددة نقطة القطع وتنتج الهشاشة من درجة التبلور العالية.<sup>(٧)</sup>



### ٣- الشروخ الناتجة عن الضغوط

ويمكن تقسيم الشروخ الناتجة عن الضغوط إلى نوعين:

- ١- شروخ ناتجة عن ظروف بيئية
- ٢- شروخ ناتجة عن إجهادات داخلية

#### أ- شروخ ناتجة عن ظروف بيئية

عندما يتعرض البوليمر للظروف البيئية القاسية، أو بعض الضغوط، وفي نفس الوقت لمذيب ضعيف، أو مادة ذات نشاط سطحي لمدة طويلة، فإنه قد يحدث نوع من التلف والتدهور للبوليمر. وليس من الضروري أن تكون هذه المادة ذات النشاط السطحي التي يتعرض لها البلاستيك ضارة، فقد تكون صابون أو منظف صناعي، وقد تبدأ ظاهرة الشروخ الناتجة عن الضغوط عند نقاط الضعف في المناطق غير المتبلورة بين المجموعات المتبلورة في البلاستيك، وهذه الظاهرة تحدث بصورة أكثر في البوليمرات الأعلى في درجة تبلورها.

#### ب- شروخ ناتجة عن إجهادات داخلية

ولا يلزم أن تكون الضغوط من مصادر خارجية، بل قد تكون نتيجة إجهادات داخلية أثناء عملية تشكيل الخامة حيث يؤدي التباين في معدلات التبريد داخل القالب إلى درجات مختلفة من التبلور في مختلف الأجزاء، وبالتالي إلى نسب مختلفة من الانكماش. كما أن انسياب البلاستيك داخل القالب عادة ما يحدث بدرجات متفاوتة، مما يؤدي إلى ظهور إجهادات مختلفة. ويؤدي انخفاض معامل التوصيل الحراري في الأجزاء السميكة إلى اختلاف في المسار الحراري في المواضع المختلفة لنفس الجزء، وهذا بدوره يؤدي إلى اختلاف في بنين الجزء المصنوع من اللدائن الحرارية. وفي بعض الأجزاء ذات التجويف الداخلي يسبب وجود قلب معدني عدم حرية انكماش البوليمر حوله مما يؤدي أيضا إلى تولد إجهادات. وفي اللدائن التي تتعرض للزحف creep يؤدي الإنفعال إلى تناقص تدريجي في الإجهادات يصاحبه حدوث تشوه في هذا الجزء<sup>(١)</sup>.





#### ٤ - مقاومة الشد.

تختلف خواص الشد باختلاف نوع البوليمر: فبينما تظهر البوليمرات المتصلبة حرارياً، والبوليمرات الحرارية تحت درجة حرارة  $T_g$  سلوكاً قصفاً، كما هو موضح في (الشكل ٨) منحني (a)، تظهر البوليمرات الأكثر متانة استطالة ملحوظة بعد حدوث الرقبة Necking كما يتضح من منحني (b). كما تزداد قوة الشد القصوى نتيجة لإعادة ترتيب الجزيئات نتيجة لاستطالة ما بعد الرقبة. وتزداد الاستطالة بعد الرقبة لدرجة ملحوظة بزيادة حساسية معدل الانسياب، وهي الزيادة التي تصاحب ارتفاع درجة حرارة البوليمر فوق درجة حرارة  $T_g$  كما هو موضح (بشكل ٩).

ويعتبر الأكريليك من اللدائن ذات المتانة المنخفضة التي تعاني من تركيز الانفعال أثناء التحميل في نقاط محددة مما يترك علامات مرئية تسمى التجزيع  $Crazing^{(٧)}$ .

#### ٥ - الجسائية:

تعرف الجسائية بمدى مقاومة الجزء للانحناء عند تعرضه للثني، ويتم اختبار الجسائية بقياس مقاومة الانحناء بأكبر إجهاد يحدث في العينة عند تعرضها لانفعال ثني ٥%، كما يعرف معامل الانثناء بميل منحني الإجهاد - الانفعال تحت قوة الثني.

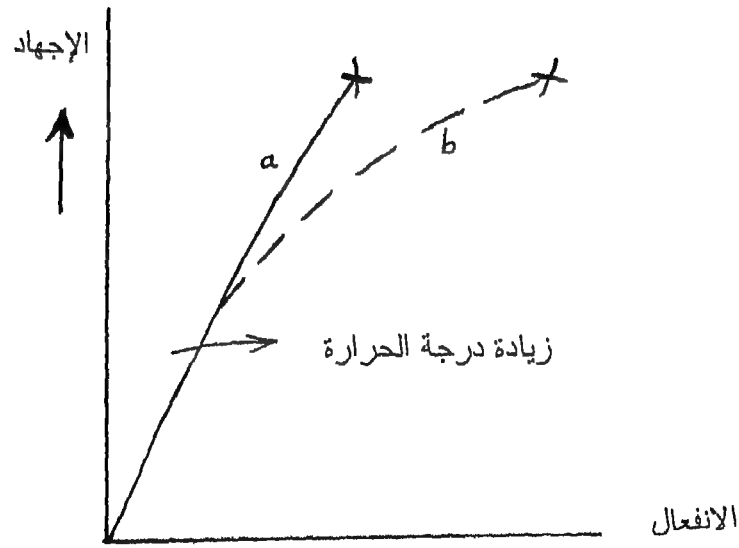
#### ٦ - المتانة:

تزداد متانة البوليمرات مع وجود درجة متوسطة من التبلور، ومع تخفيض حجم كريات البللورات، وتزداد المتانة في البوليمرات التساهمية copolymers بإدخال بوليمر ذي درجة تحول زجاجي أقل بكثير من درجة حرارة الاستخدام.

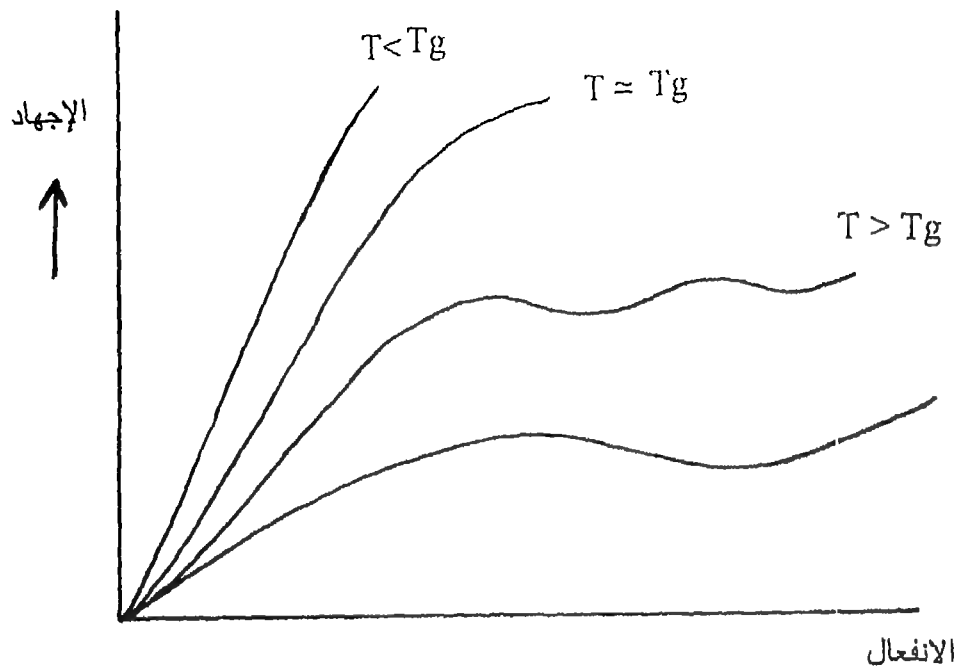
#### ٧ - الصلابة:

كلما قلت الصلابة، كلما ازدادت استطالة العينة قبل الكسر، كما تتميز البوليمرات ذات الصلابة المتوسطة بأعلى مقاومة للشد، وتقل المقاومة للبوليمرات الطرية أو الصلبة جداً.





شكل (٨) منحنى اختبار الشد لبوليمر قصف (منحنى a) وبوليمر متين (منحنى b)



شكل (٩) تأثير درجة الحرارة على منحنى اختبار الشد.



## ٨- معامل المرونة:

يصعب تحديد معامل المرونة في اللدائن كما هو الحال في المعادن، نظرا لعدم استقامة منحنى التحميل حتى عند الانفعالات الصغيرة، وفي معظم البوليمرات ينخفض معامل المرونة مع زيادة درجة الحرارة<sup>(٧)</sup>.

## تأثير العوامل الجوية Weatherability

إن تأثير العوامل الجوية تنتج عن مجموعات من المؤثرات البيئية، وتشمل الأشعة فوق البنفسجية والتغيرات الجوية. وعادة ما تكون معظم التأثيرات الجوية التي تتسبب في تحلل البلاستيك ناتجة عن الأشعة فوق بنفسجية.

ويأخذ هذا التحلل أشكالا مختلفة وذلك تبعا لنوع البلاستيك.

أ- الهشاشة والتشقق

ب- تغير مظهر السطح

ج- تغير اللون

د- تغير في الخواص الكهربائية

تتميز البوليمرات المشبعة بمقاومتها لتأثير الأشعة فوق بنفسجية والأوزون بدرجة أكبر من البوليمرات غير المشبعة، ونتيجة لذلك يحدث في بعض أنواع البلاستيك تغير للسطح، إلا أن كثير من البوليمرات تسمح للأشعة فوق بنفسجية بالتغلغل داخلها، مما يسمح بتحلل ما دون السطح، فتتغير الخواص وتحدث الهشاشة والعتامة darkening وتغيرات أخرى.<sup>(٧)</sup>

وقد أثبتت السنوات العديدة من التعرض الخارجي للأكريليك في مختلف الاستخدامات مقاومته لتأثير العوامل الخارجية، ولا يمكن مقارنتها بأي من أنواع البلاستيك الشفاف.<sup>(١٣)</sup>



من حيث تغير اللون أو الخواص الطبيعية، فهو مع قليل من أنواع البلاستيك، يسمح بنفاذ الأشعة فوق البنفسجية، بأقل قدر من التحلل<sup>(\*)</sup>.

وألواح الأكريليك غير قابلة للانكماش والتآكل خلال فترات طويلة، وإن كثيرا من أجهزة القياس التي تطلب. ثبات قوى للأبعاد تصنع من الأكريليك وإن التزايد الحراري والإشعاعي الناتج عن لمبات بخار الزئبق والأشعة فوق البنفسجية الناتجة عن الإضاءة الفلورسنتية، لها تأثير طفيف غير حاد على الأكريليك، وتقل قدرة مادة الأكريليك الشفافة على نقل الضوء بنسبة واحد في المائة في خلال خمس سنوات.<sup>(٤)</sup>

---

(\*) توجد نوعيات مخصصة من الأكريليك لمقاومة الأشعة فوق البنفسجية، تستخدم في بعض الأغراض مثل عواكس مصابيح الهالوجينية المعرضة لتركيزات عالية من الأشعة فوق البنفسجية أكثر من المعدل المعتاد الموجود في أشعة الشمس أو لمبات الفلوروسنت





الفصل الأول  
أساليب التشكيل المباشر  
في خامة الأكريليك



## مقدمة

إذا كنا قد تعرضنا في الباب السابق إلى التعريف بخامة الإكريليك وصور تواجدها وخواصها الكيميائية والفيزيائية بغية الحصول على إلمامه شاملة تتيح للمثاليين المهتمين بمجال البلاستيك إخضاع خواص الخامة للفكرة التصميمية، فإننا الآن بصدد الطرق والأساليب المتعلقة بإخضاع خامة الإكريليك لتنفيذ عمل نحى، حيث يكون من المهم حصر تلك الطرق التكنيكية المختلفة، وكيف يمكن الاستفادة منها في مجال التشكيل النحتى بالرغم من أنها فى مجموعها عمليات أدائية صناعية إلا أن ما نسموا إليه هو تطويع هذه الطرق الصناعية بما يتواءم وعمليات التشكيل ببلاستيك الأكريليك من ناحية، ومن ناحية أخرى بما يعطى أبعاداً تشكيلية وتعبيرية تتخطى الحدود النمطية والصناعية للتشكيل بالبلاستيك مما يتيح للفنان قدرة أوسع فى تنفيذ أفكاره بمرونة فائقة.



## الباب الثاني أساليب التشكيل النحتي بخامة الأكريليك

الفصل الأول	: أساليب التشكيل المباشر في خامة الأكريليك
الفصل الثاني	: التشكيل الحراري لألواح الأكريليك
الفصل الثالث	: الصب
الفصل الرابع	: أساليب التجميع
الفصل الخامس	: أساليب الإنهاء والتشطيب



العدد والأدوات المستخدمة في عملية التشكيل المباشر بخامة الأكريليك تتمثل الأدوات الأساسية المستخدمة في عملية التشكيل الخاصة بخامة الأكريليك في:

- ١- المثقاب
- ٢- المناشير
- ٣- المبارد
- ٤- ماكينات الخرط والنقر والتفريز
- ٥- أدوات القطع

وللحصول على نتائج جيدة عند استخدام الماكينات التي تتعامل مع الأخشاب أو المعادن، يتم إجراء بعض التعديلات الطفيفة على الأدوات. إلا إنه توجد اختلافات هامة في الطريقة التي يتفاعل بها البلاستيك مع الماكينات فالمواد البلاستيكية يكون لها قدر قليل من التوصيل الحراري، وإذا لم يتم عمل الاستعدادات لتقليل الحرارة الناشئة، ففي هذه الحالة فإن وجود سلسلة من التمدد الحراري للخامة، والاحتكاك المتزايد وتزايد الحرارة الناشئة وزيادة استهلاك الآلات، كل ذلك يؤدي إلى حدوث تلفيات في الخامة.

وأهم ما يجب ملاحظته عند التشغيل في البلاستيك هو الاحتفاظ بالعدد حادة دائما بدءاً من سكينه الفريز حتى إلى المثقاب اليدوي الصغير.<sup>(١٤)</sup>

### أساليب التشكيل في خامة الأكريليك

هناك أساليب متعددة لتشكيل خامة الأكريليك يتم استخدامها للحصول على التأثير والتشكيل المطلوب، ومنها:

- ١- الثقب
- ٢- النشر
- ٣- الخرط
- ٤- النقر والتفريز
- ٥- القطع
- ٦- البرد
- ٧- اللفح بالرمال





## ١ - الثقب

المتقاب اليدوي يكون مناسباً لحفر ثقوب ذات قطر صغير، فبالنسبة للثقوب ذات الاتساع الأكبر من ٦ مم يكون من الضروري استخدام متقاب آلي يدوي وأفضل النتائج يمكن الحصول عليها بواسطة استخدام المتقاب الالتوائي Twist drill (شكل ١٠). ويجب انتقاء المتقاب المصنوع من الصلب ذي السرعة العالية والسنون الواسعة المصقولة.<sup>(١٥)</sup>

ويجب استخدام أعلى سرعة يمكن الحصول عليها في حالة المتقايب صغيرة الأقطار. وإذا كان سمك الخامة يؤدي إلى عدم وصول سن الحفر الخاص بالمتقاب إلى القاع أو تخلله، يجب الحذر من انكسار الأكريليك، لذلك يجب وضع قطعة من الخشب أسفل النقطة التي سيتخللها المتقاب مباشرة وبذلك يوفر أقصى دعم للخامة خلال عملية الثقب. وبالطبع إذا كان المطلوب عمل ثقب صغير في مسافة قصيرة داخل الكتلة فإن احتمال حدوث الكسر يكون ضئيلاً أو معدوماً.

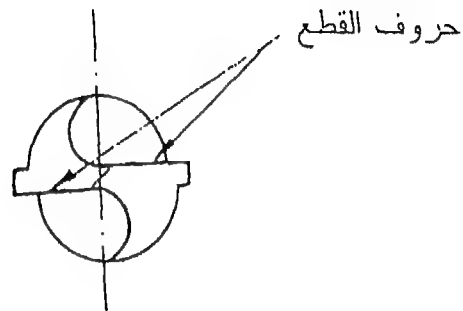
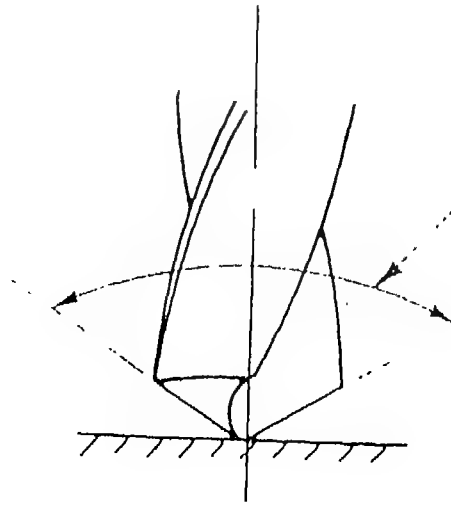
وإذا كان اللوح المراد ثقبه قليل السمك، يكون من المهم أن يدخل كل قطر سن المتقاب داخل الخامة قبل أن ينفذ من السطح السفلي لها. ويجب التخلص من مخلفات الثقب أولاً بأول وذلك عن طريق سحب المتقاب خارج الثقب كي نسمح للشذرات بالخروج من الثقب وإذا كان الثقب عميقاً ينصح باستخدام مادة مشحمة.<sup>(٢)</sup>

وأثناء عملية الثقب تنشأ حرارة عالية، والقطع الفعلي للخامة يظهر قاع الثقب وهو يتم بواسطة حافتي القطع الموجودتين في طرفي المتقاب. وكلما توغل المتقاب في الخامة تولدت حرارة من الاحتكاك، وإذا زادت هذه الحرارة عن درجة انصهار المادة، فإن خامة الأكريليك تتصهر، وفي هذه الحالة تلتحم الشذرات بالمتقاب ويسد سن المتقاب. وللحصول على ثقوب جيدة أساساً فإنه يجدر توفير بعض التبريد أثناء عملية الثقب، ويكون من الأفضل أن نسحب المتقاب عدة مرات خارج الثقب حتى يتم التبريد بالهواء فذلك من شأنه التخفيف من شدة السخونة المتولدة من عملية الثقب حيث تنتقل الحرارة إلى الوسط المحيط.

وبصفة عامة يمكن القول أن السرعات تقل كلما كبر حجم الثقب أو كلما قلت صلابة الخامة والحرارة المتولدة في حجم الوحدة الواحدة، وتتضاعف بسرعة كلما تضائل عمق الثقب. ويتم معرفة مدى ملائمة السرعات العالية في الاستخدام يتم معرفتها عندما يتغير قوام الشذرات من كونها صلبة إلى كونها لينه.



-٤٧-



حروف القطع

شكل (١٠) المثقاب الإلتوائي



ولتجنب الحرارة الزائدة في معظم الحالات يكون من الضروري العمل على إبعاد الحرارة بواسطة استخدام تيار هوائي أو سائل مبرد، وفي حالة استخدام السائل يكون من الضروري التأكد أنه ليس له تأثير ضار على الخامة ويستخدم لذلك الماء أو ١٠٪ محلول زيت قابل للذوبان في الماء أو صابون مع الماء<sup>(١٦)</sup>.

## ٢ - النشر

يتوقف نوع المنشار المستخدم على نوع العمل المطلوب إنجازه، فالمنشار الدائري يفضل استخدامه في القطع المستقيم، بينما ينصح باستخدام منشار متعدد المنحنيات jig saw والمنشار ذي الطرف الحاد المقوس الشكل Saber saw عند قطع المنحنيات وأنصاف أقطار صغيرة في لوح الأكريليك الرفيع أو في القطع المستقيم في اللوح الأكريليك السميك وتتقسم المناشير المستخدمة إلى أربعة أنواع:

### أ- المنشار اليدوي

المناشير ذات السنون الدقيقة تكون أكثر ملائمة في التعامل مع خامة الأكريليك من تلك ذات السنون الكبيرة، والمنشار الذي يحتوي على حوالي ١٦ : ١٨ سنة / بوصة يكون أكثر ملائمة للاستخدام<sup>(١٥)</sup>.

### ب- المنشار الآلي الشريطي

يعتبر هذا المنشار مناسباً لقطع ألواح الأكريليك، والنوع المخصص لقطع المعادن أكثر ملائمة لقطع الأكريليك وذلك لصغر سنونه حتى لا يتسبب في أي أضرار للخامة. ويجب إبقاء الجزء المثبت على السطح الأفقي للمنشار بالقرب من لوح الأكريليك بقدر المستطاع وذلك لمنع السبن من الإعوجاج ويستخدم في قطع الخطوط المنحنية بالألواح المسطحة<sup>(١٧)</sup> وبفضل استخدام المنشار الشريطي في عملية النشر لألواح الأكريليك وذلك لأن النصل الطويل يسهل عملية تثبيت الحرارة، كما أنه يسهل قطع الأشكال المعقدة، والنصل ذات السنون المتفاوتة تتأوي Skip tooth يعطى أحسن النتائج (شكل ١١). وذلك لأن سنونه لا يمكن عرقلتها بسهولة، وعادة فإن النصل الذي يربط به عدد من ٢ : ٤ سنون / اسم، يعطى أفضل النتائج. وبالنسبة لسمك الخامة حتى ١٢ مم فإنه سرعات النصل في المدى من ١٥ : ٢٥ م / ث يجب أن تستخدم مع مراعاة استخدام سرعات أقل في الأجزاء الأكثر سمكا<sup>(١٨)</sup>.



### ج- المناشير المتأرجحة والنصف قطرية Swing

تتحرك هذه المناشير بينما يكون العمل المراد قطعه مثبتا جيدا، لكنها تستخدم عادة في قطع الألواح الكبيرة، لأن طول القطع يكون محدودا بحوالي ٢٤ بوصة، ويمكن استخدامها لعمل القطع ذي الزاوية أو القطع المستعرض في الأماكن الضيقة.<sup>(١٥)</sup>

### د- المنشار الدائري

هو أفضل آلة ميكانيكية لقطع الخطوط المستقيمة (شكل ١٢) ويجب ألا تكون السنون المستخدمة عريضة جدا. فالنصل المثالي يكون ما بين ٥ : ٣ سنة / بوصة وذلك بالنسبة للوح الأكريليك سمك ٣ مم، ٨ : ١٠ سنة / بوصة بالنسبة للوح سمك ١٣ مم أو ما يزيد عن ذلك.

و النصل القرص ذو القطر ١٠ بوصة يجب أن يدور بسرعة حوالي ٤٠٠٠ دورة مركزية / دقيقة، والنصل ذو الطرف المصنوع من مادة كربيد التنجستن Tningsten carbides يعطى تشطيبا رائعا لحواف الأكريليك ولا يحتاج إلى السن المستمر الذي تحتاج إليه الأقراص أو السنون المعدنية ذات السرعات العالية.

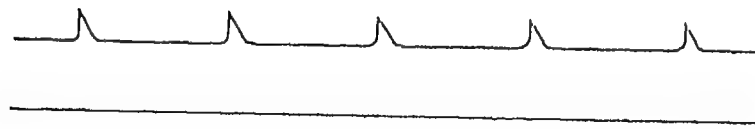
وفي حالة ظهور شذرات يجب تقليل سرعة الشد أو التقليل من دفع الخامة أمام القرص. مع ملاحظة أن بعض الأصابع المستخدمة في تلوين الأكريليك تتسبب في فقدان أدوات القطع لحدتها، لذلك يفضل استخدام نصل من كربيد التنجستن في حالة الألواح ذات الألوان، أما بالنسبة لقطع الألواح الأكريليك الشفافة أو غير الملونة فإنه يمكن استخدام النصل المعدني ذي السرعة العالية.

### ٣- الخرط

المواد الإكلريكية يسهل خرطها، إلا أنه يجب توخي الحذر لمنع الأكريليك من أن يسخن، كما يجب أن تكون أدوات الخرط مشحونة جيدا وأن يتم تبريدها بشكل صحيح. ويجب أن تكون زاوية الميل ما بين ١٥° : ٢٠° وأن تتراوح سرعة الحفر ما بين ٦٠٠٠ قدم / دقيقة (٣٠٠ متر/دقيقة)، وسرعات أقل تصل إلى ٧٥ قدم/دقيقة (٢٢ متر / دقيقة). وتستخدم السرعات العالية للإزالة السريعة للأجزاء غير المطلوبة وذلك في توافر مادة مبردة، والسرعات الأقل للخرط تستخدم للحصول على تشطيبات ذات كفاءة عالية. مع مراعاة أنه إذا سمح للعدة بالبقاء على قطع التشكيل بدون تحريكها فإنها قد تسبب احتراق المادة<sup>(٢)</sup>.







شكل (١١) المنشار الآلى الشريطى



شكل (١٢) المنشار الدائرى



#### ٤ - النقر والتفريز

ماكينات التفريز ذات حواف القطع المصنوعة من المعدن العادية ليست هي الأفضل لقطع الأكريليك وذلك لأن الحزوز الموجودة بها غالباً ما تسد بالرايش الناتج من عملية القطع، وبدلاً من ذلك، تستخدم القواطع أو الآلات ذات الحد العريض<sup>(٦)</sup>.

ويستعمل قواطع عالية السرعة مع مراعاة انظام هذه السرعات، ويجوز استخدام قاطع قطره ٥ بوصة وعرضه ١ بوصة عند سرعة ٤٠٠ قدم / دقيقة. ويجب أن نرتد الأدوات المستخدمة دائماً للخلف وذلك لإخراج الشذرات وإبعادها ويكون وضع الشمع مفيداً بالأخص في حالات الثقوب غير النافذة حيث إنها تؤدي إلى تنظيف الشذرات كلما تراكمت.<sup>(١٥)</sup>

#### ٥ - القطع

المواد البلاستيكية لها معاملات صلابة منخفضة حيث أنه إذا لم يتم تدعيم القطعة التي نعمل بها جيداً فإنها سوف تتحرف تحت الضغط الناشئ من آلة القطع وسيؤدي ذلك إلى حدوث قطوع غير متساوية.<sup>(٢٠)</sup>

ويوجد نوعان للقطع حسب نوع الخطوط المراد قطعها:

##### أ- قطع الخطوط المستقيمة

يتم أخذ حز سطر آلة القطع (شكل ١٣) بطول اللوح حتى النقطة التي سيتم القطع عندها، ثم يتم الضغط على اللوح بخفة حتى يذكر بطول هذا الخط حيث يكون هذا الخط هو أضعف نقطة في اللوح. إمسك الآلة بين السبابة والإبهام فمر بها عبر اللوح ثلاث أو أربع مرات باستخدام حافة مستقيمة أو مسطرة من الصلب كي ترشد النصل القاطع. ومن الضروري عمل حز واحد نظيف وذلك للحصول على نتائج جيدة. ثم يوضع اللوح فوق حافة المائدة على أن يكون الجزء موضوع مباشرة فوق الحافة، وبضغط بشكل ثابت على الجزء المتولد خارج المائدة من اللوح مع الإبقاء على الجزء الآخر منه مسطحاً فوق سطح المائدة، وبزيادة الضغط سينكسر الأكريليك بشكل دقيق بطول الحز المعمول به، وبذلك تكون التشطيبات المطلوبة لتلك الحافة بسيطة، وهي أن يتم عمل صنفرة خفيفة لها بواسطة ورق





شكل (١٣) آلة القطع



صنفرة وذلك لتجهيزها قبل أن يتم صقلها. وتتلائم هذه الطريقة مع الألواح التي يصل سمكها إلى ٣ مم ، أما بالنسبة للألواح التي يصل سمكها إلى ٦ مم فإنه يتم عمل حز في كلا السطحي اللوح وذلك للحصول على قطع نظيفة . ولا توجد حاجة لنزع الورق المغلف للوح إلا في حالة عمل حز على جانبي اللوح، فيكون من المساعد إزالة هذه الورق للتأكد من تطابق الحز المعمول من الناحيتين على اللوح الشفاف.

وإذا كانت المساحة المراد قطعها عبارة عن شريط طويل ضيق، ففي هذه الحالة يكون النشر هو أفضل وسيلة بقطع اللوح حيث أن ضيق المساحة لا يسمح للتعامل معها بالإمسك بقوة بسطحها المفرد كي يتمكن من الضغط على الجزء المتولي خارج حافة المائدة.

#### ب- قطع الخطوط المنحنية

عند قطع الخطوط المنحنية يكون من الضروري أن نعمل الحز بواسطة تمرير الآلة عبر الحز عدة مرات، لذلك يجب الاستعانة بلوح خشبي مصمم بنفس شكل التصميم المراد تنفيذه كي تمر عليه آلة القطع، وحتى بعد أن يتم عمل الخطوط المنحنية بدقة فإن عملية توفير الضغط المناسب على اللوح لن تكون عملية سهلة.

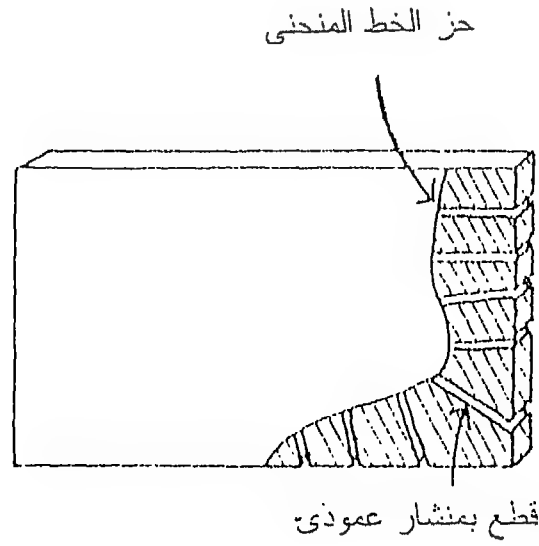
ولقطع محيط الأشكال المتدرجة بشدة تم عمل حز الخط المنحني على سطح اللوح أول الأمر، يلي ذلك عمل سلسلة من القطوع بواسطة منشار عمودي على الخط المنحني ثم تتم إزالة الرايش أولاً بأول وإذا كان حجم الرايش صغيراً الحجم يستخدم آلة عريضة الفكين (زرادية) في إزالته. (الشكل ١٤)

#### ٦- البرد

تعتبر المبرد من العدد الهامة والمفيدة جداً بأشكالها المختلفة، حيث تقوم بتنعيم الحواف والأسطح الصغيرة، وأفضلها المبرد الحدادي<sup>(١٤)</sup>.







شكل (١٤) رسم توضيحي لقطع الأشكال المنحنية



## ٧- اللّفح بالرمال

طرق السطح المصقول بعناية بواسطة الرمال التي يتم قذفها عليه تحت ضغط معين ينتج عنه تأثير وكأنه سطح مسامي، به نتوءات دقيقة جدا، وينقل الضوء بطريقة مماثلة للحزوز التي تنتج عن طريق الحفر، وتتم هذه التقنية بأداة لفح الرمال.

وجوهر هذه التقنية غاية في البساطة فالمساحات التي يجب أن تظل مصقولة بشكل جيد يتم حمايتها، أما المساحات المراد تغيير طبيعتها سطحها بشكل به نتوءات، فإننا نعرضها. (٢)



## الفصل الثانى التشكيل الحراري لألواح الأكريليك



## التشكيل الحراري لألواح الأكريليك

التشكيل الحراري لألواح الترموبلاستيك هو واحد من أشمل أو أعم التشكيلات في صناعة البلاستيك، والتي بنى عليها كل إمكانيات التشكيل في خلال الحقب الماضية.

وترجع أقدم أساليب التشكيل الحراري إلى استخدام مادة gutta percha ( مادة شبيهة بالمطاط المستخرج من بعض الأشجار في ماليزيا )، وتلا ذلك استخدام السليوليد، ثم تطورت عملية التشكيل الحراري سريعاً، ويرجع ذلك إلى الأساليب المبتكرة في معدات التشكيل، وتطور المواد البلاستيكية الجديدة ذات الخواص الحرارية الخاصة. ومن خلال المعرفة بخصائص هذه المواد وإمكانية تليينها وإعادة تشكيلها بالتسخين، أمكن تطوير تشكيل ألواح الترموبلاستيك، بطرق متقدمة لتغطية استخداماته على نطاق واسع وبأشكال مختلفة.<sup>(١٦)</sup>

إن عملية التشكيل الحراري لألواح الترموبلاستيك تتضمن تسخين اللوح إلى الدرجة التي يمكن عندها أن يتخذ شكل القالب. ويتم دفع اللوح في القالب إما هوائياً أو ميكانيكياً.

### دورة التشكيل forming cycle

تشمل دورة التشكيل العمليات الآتية:

أولاً: التسخين

ثانياً: التشكيل

وتليهما عملية التبريد

### أولاً: التسخين

يمكن أن يتراوح تسخين لوح الترموبلاستيك فيما بين ( ١٢٠ - ٢٠٠ م° ) حسب نوع المادة البلاستيكية المستخدمة ومن الضروري التحكم بعناية في درجة الحرارة طوال فترة التشكيل و السيطرة عليها.

وحيث أن مواد البلاستيك موصل ضعيف للحرارة لذلك يجب إعطاء لوح الأكريليك الوقت الكافي لكي تصل الحرارة إلى وسط اللوح على ألا تتعدى درجة الحرارة ١٧٠ م° حتى لا يتعرض اللوح للتلف.





وألواح الأكريليك التي تعرضت للتشكيل بالحرارة يمكن أن تعود إلى هيئتها المنبسطة بعد تسخينها مرة أخرى . وعندما تبرد يمكنها أن تحتفظ بشكلها الجديد بصورة دائمة وثابتة<sup>(١)</sup>.

### طرق تسخين ألواح الأكريليك:

يمكن تقسيم هذه الطرق إلى جزئين:

١- تسخين مقطع اللوح لثنى موضعي

٢- تليدين اللوح بالكامل

### ١ - طرق تسخين مقطع اللوح لعمل ثني موضعي

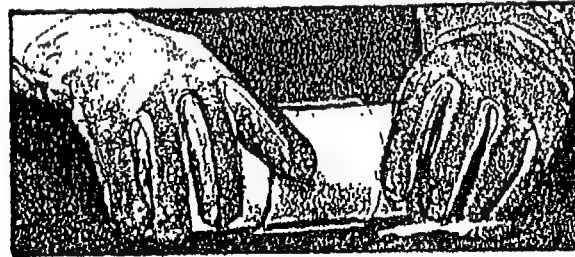
أ- تستخدم مسدسات الحرارة المحمولة portable heat guns ، مثل موديل HG الحراري، وهي بدون لهب وتصل إلى درجة حرارة تزيد عن ٥٠٠°م. وهي تعتبر أسلوبا سريعا وملائما لتسخين الأكريليك، وخاصة تسخين أجزاء معينة فقط من اللوح.

ب- سخانات الشرائح strip heating تستخدم لتسخين الأكريليك بطول خط مستقيم بحيث أنه يمكن ثنيها بطول ذلك الخط. وعادة ما يكون سخان الشرائح سخان كهربائي مصنوع من ملف مقاوم من سلك معدني نيكيل كروم، وينبغي عزل السلك وحمايته بأنبوبة من الفخار الصيني أو حبات البورسلين، كما يمكن لفه بنحاس أو أنبوبة من زجاج البيركس، وينبغي أن يكون السخان مجهزا بضابط تغير المقاومة لمنع التسخين الزائد للوح الأكريليك. ويمكن استخدام شكل خشبي مناسب للفورمه المطلوبة حتى يتاح عمل معظم التشكيلات باستخدام قالب مناسب لها. (شكل ١٥)

### ٢ - تسخين اللوح بالكامل

يتم تليدين لوح الأكريليك عند تسخينه لدرجات حرارة تبلغ نحو ١٤٠ - ١٧٠°م وفي هذه المرحلة يصبح اللوح في حالة مرنة ومطاطية وشديد القابلية للثنى. وقد يتشكل إلى مجموعة متنوعة من الأشكال الثلاثية الأبعاد ( وينبغي السماح لها أن تبرد ببطء وبانتظام ويساعد التبريد البطيء المنتظم في تقليل الشد الداخلي).<sup>(١٥)</sup>





شكل (١٥) التشكيل باستخدام قوالب خشبية مناسبة



ويمكن تسخين لوح الأكريليك بطريقتين:

أ- طريقة التسخين المشع

ب- التسخين باستخدام أفران

أ- طريقة التسخين المشع

تعتبر طريقة التسخين المشع من أكثر الطرق شيوعاً ذلك لأن الأشعة تحت الحمراء التي تنبعث من مصدر حراري قوته من ٤٢٦ : ٦٤٥ °م يتراوح طولها الموجي فيما بين ٣ إلى ٤ ميكرون وهذا المدى هو أفضل مدى بالنسبة لألواح البلاستيك لكي تمتص تلك الطاقة الإشعاعية. والوقت الذي تستغرقه سخانات في التسخين يعتمد على أربع عوامل:

- درجة حرارة المسخن

- قوة المسخن بالوات / قدم مربع

- المسافة بين المسخن واللوح

- الحرارة الإشعاعية التي تمتصها خامه اللوح

وكما زادت درجة الحرارة يقصر مدى الطول الموجي، وامتصاص ألواح البلاستيك للموجة الحرارية القصيرة منخفض، وعموماً كلما زاد الإشعاع الحراري مع الحرارة المرتفعة، فإنه يتم امتصاصها بكفاءة أقل.<sup>(١٧)</sup>

وتستخدم سخانات الأشعة تحت الحمراء من نوع السيراميك حيث تتركب مجموعة من هذه الوحدات في لوحة واحدة لتشكيل لوح التسخين حسب المقاس المطلوب، وبذلك يمكن التحكم الحراري في بعض أجزاء من اللوح إذا كان ذلك مطلوباً ويتم تحريك هذه الوحدات يدوياً أو ميكانيكياً.

والأواح الثرموبلاستيك التي يزيد سمكها عن ١,٥ مم يجب أن تسخن ببطء شديد (يمكن عمل تسخين مبدئي لها في فرن هواء ساخن للتقليل من زمن التسخين أثناء عملية التشكيل).



وتحتاج ألواح البولييمر الأكثر سمكا إلى سخانات ذات شطرين وذلك للتقليل من مرات التسخين، وأيضاً حتى يتم التسخين بطريقة متساوية في جميع أجزاء اللوح ويختلف وقت التسخين من نصف دقيقة إلى خمس دقائق تبعاً لنوع الترموبلاستيك وسمك اللوح.<sup>(١٦)</sup>

فقد يتنوع زمن التسخين الإشعاعي لألواح الأكريليك فالألواح التي يبلغ سمكها ٣ مم يتم تسخينها من جانب واحد لمدة ٣ دقائق بالمقارنة بنحو عشرة دقائق بالنسبة لتسخين فرن الهواء.<sup>(١٥)</sup>

#### ب- التسخين باستخدام الأفران

يجب أن يتم استخدام فرن ذي تحكم بواسطة ثرموستات للاحتفاظ بدرجات الحرارة ما بين ١٣٠°م و ١٦٠°م، ويفضل استخدام قفاز عازل للحرارة - يغطي بمادة الأسبستوس للإمساك بالخامة الأكريليكية الخارجة من الفرن مع مراعاة استخدام قطعة من قماش الكتان الناعم حول الأكريليك في المكان الذي سيتم الثني فيه حتى لا تحدث أية علامات على السطح.<sup>(٢)</sup>

### ثانياً : التشكيل

هناك تصنيفات رئيسية للتشكيل الحراري بعده تنوعت في نطاق كل تصنيف:

١- التشكيل بتفريغ الهواء

٢- التشكيل بالضغط

٣- التشكيل بالقوالب المتوائمة.<sup>(٩)</sup>

#### ١ - التشكيل بتفريغ الهواء:

لقد استخدمت هذه الطريقة إبان الحرب العالمية الثانية لصنع ألواح سميكة من خلاات السيليلوز وبعد ذلك الأكريليك، وكانت الطريقة المتبعة أن يتم تسخين ألواح البلاستيك الشفاف في فرن مناسب حتى تصبح لينة وهي ساخنة فوق قالب بالشكل المطلوب وقد يستخدم الضغط المشكل على هذه الألواح بواسطة كيس من المطاط بعد نفخة تبعاً لدرجة الضغط المطلوبة. ثم استحدثت طرق أخرى يستخدم فيها ضغط الهواء مباشرة على الألواح الساخنة





فيحملها على الالتصاق الدقيق بتجويف القالب الذي يصنع إما من المعدن أو الخشب أو المصيص.<sup>(٣)</sup>

والتشكيل بالتفريغ يعتبر بصفة عامة أقل عمليات التشكيل الحراري تكلفة لأن القالب يكون مصنوعاً من قطعة واحدة ومن بنية بسيطة.

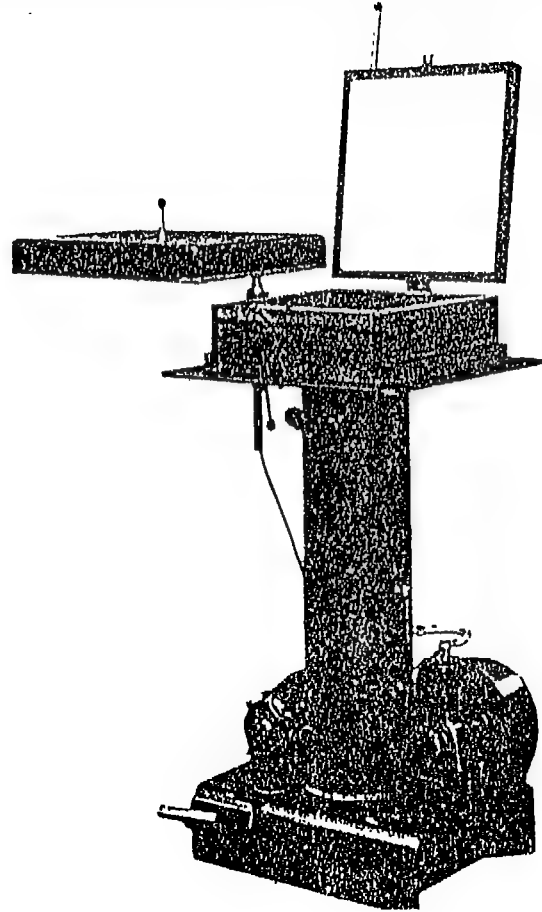
وتتكون معدات التشكيل بالتفريغ من صندوق يمكن تفريغه من الهواء عن طريق فتحة متصلة بوحدة تفريغ وسطحه العلوي مزود بإطار محكم. ويمكن أحكامه بواسطة "مشابك" لتثبيت الألواح، ويتكون كذلك من وحدة تسخين، وهذه يمكن التحكم في ارتفاعها ودرجة حرارتها، حيث يوضع القالب في قاع الصندوق بعد ثقبه بعدد من الثقوب الرفيعة، ويوضع لوح البلاستيك المطلوب تشكيله فوق سطح اللوح، وعلى مسافة مناسبة منه ( ١٢٧ : ١٥٢ مم) لإمكان تسخين اللوح بطريقة متجانسة قدر الإمكان. وعندما تصل حرارة اللوح إلى ما يسبق درجة انصهاره يصبح البلاستيك ليناً - ويسهل تطويعه - ثم يتم إبعاد وحدة التسخين ويتم تفريغ الهواء بواسطة مضخة التفريغ، وعندئذ يسحب اللوح على الداخل حتى يلتصق بالقالب، ويمثل نسخة دقيقة لتفاصيل القالب. وعندما يبرد العمل ويصلب يمكن فصله عن القالب ويتم تهذيب الحواف. (شكل ١٦)<sup>(١٦)</sup>

ويمكن أن تؤدي عملية التشكيل بتفريغ الهواء إلى حدوث شروخ إذا لم تؤخذ احتياطات كافية أثناء تلامس اللوح الساخن مع القالب البارد. حيث أن الأجزاء التي تتلامس مع القالب في البداية تبرد بسرعة أعلى نسبياً من باقي الأجزاء، وبذلك يتركز التشكيل في الأجزاء التي لا تزال ساخنة ويقل سمكها، يمكن أن تؤدي إلى حدوث كسر.<sup>(٨)</sup> لذلك يمكن تعديل جهاز التفريغ البسيط لإمكانية التحكم في سمك اللوح أثناء عملية التشكيل وإمكانية تنفيذ أشكال معقدة. أو إنتاج وحدات متعددة بالأساليب التالية:

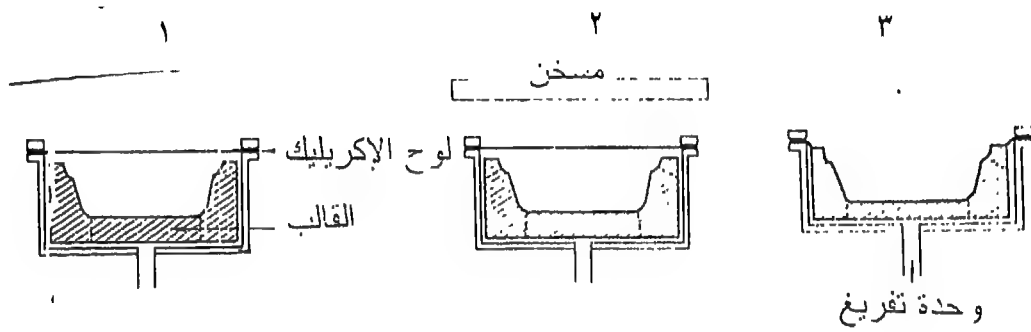
١- استخدام ضواغط آلية لتثبيت اللوح على الإطار

٢- استخدام روافع لرفع القالب داخل صندوق التفريغ إلى أعلى لإمكان ضغطه من أسفل إلى لوح البلاستيك وذلك قبل إجراء عملية التفريغ وهذا في عملية تشكيل مبدئي للوح





ماكينة التشكيل الحرارى بالتفريغ



شكل (١٦) مراحل التشكيل الحرارى

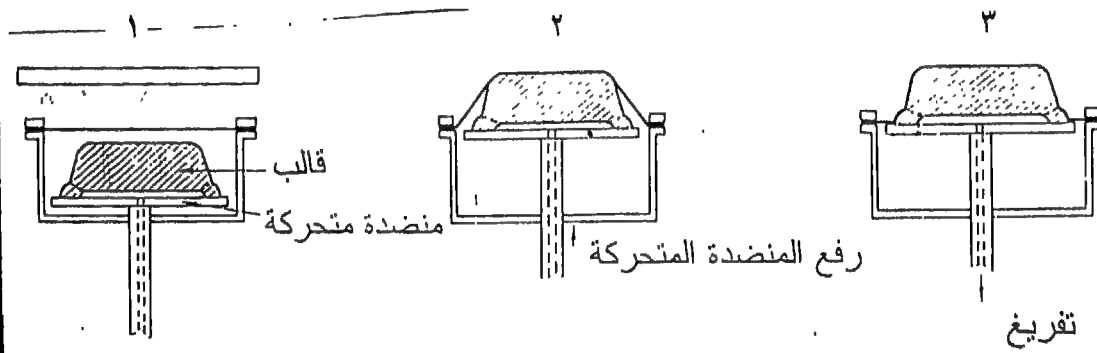


- ويسهل استكمال التشكيل وكذلك يسهل سحب العمل من القالب بعد ذلك. (شكل ١٧)
- ٣- يمكن عن طريق صمامات خاصة — دفع هواء في صندوق التفريغ بعد تسخين اللوح، حيث يتكون شكل محدب قبل رفع القالب ويمنع تواجد أماكن رقيقة من اللوح عند الزوايا الحادة أو الأماكن البارزة من اللوح، وبذلك يصبح العمل ذو مقطع متجانس نسبياً. (شكل ١٨). (تستخدم في حالات التصنيع خلية ضوئية للارتفاع المطلوب للبالون بحيث لا يزيد عن الحد المطلوب حيث يتوقف ضغط الهواء عند قطع الشعاع) (١٦)
- ٤- كذلك يمكن استخدام تشكيلات عكسية للقالب، وفي هذه الطريقة يثبت اللوح وبعد تسخينه يتحرك السنبك البارد (شكل ١٩) ليلامس اللوح الساخن عند الأطراف المطلوب أن تظل سميكة فتتجمد ثم يتم إتمام عملية التشكيل باستخدام التفريغ.
- ٥- التشكيل باستخدام سنبك مع الضغط أو التفريغ، وفي هذه الطريقة يمكن التحكم في سمك الأطراف التي تمثل نقاط ضعف بالنسبة للوح المشكل، حيث تبدأ عملية التشكيل قبل الطرق السابقة ب تثبيت أطراف اللوح ثم تسخينه، ثم باستخدام الهواء المضغوط يتم تشكيل اللوح إلى أعلى على هيئة قبة، ثم يشكل في الاتجاه المعاكس باستخدام السنبك، ثم يتم تحويط الأكربليك على السنبك، ليأخذ الشكل النهائي بمساعدة التفريغ أو الضغط (شكل ٢٠) (٨).

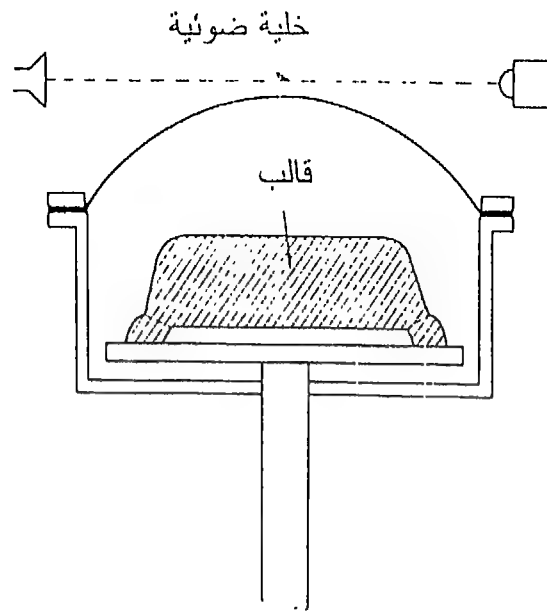
#### القوالب المعدة لعمليات التشكيل بتفريغ الهواء

- ولإتمام عملية ناجحة أثناء التشكيل بتفريغ الهواء يجب مراعاة بعض النقاط المتمثلة في طبيعة القالب المناسب المعد لهذا النوع من التشكيل وهي
- ١- زيادة عدد قنوات التهوية خاصة في المناطق التي يصعب للأكربليك الوصول إليها فني حال استخدام قوالب معقدة التصميم.
- ٢- مراعاة إعادة تسخين لوح الأكربليك مرة أخرى في حال عدم الالتصاق التام للأكربليك على سطح القالب،
- ٣- إزالة الحواف الحادة في القالب والتي تتسبب في حدوث انبعاج في لوح الأكربليك.
- ٤- توسيع الفراغات بين المناطق المرتفعة في القالب.





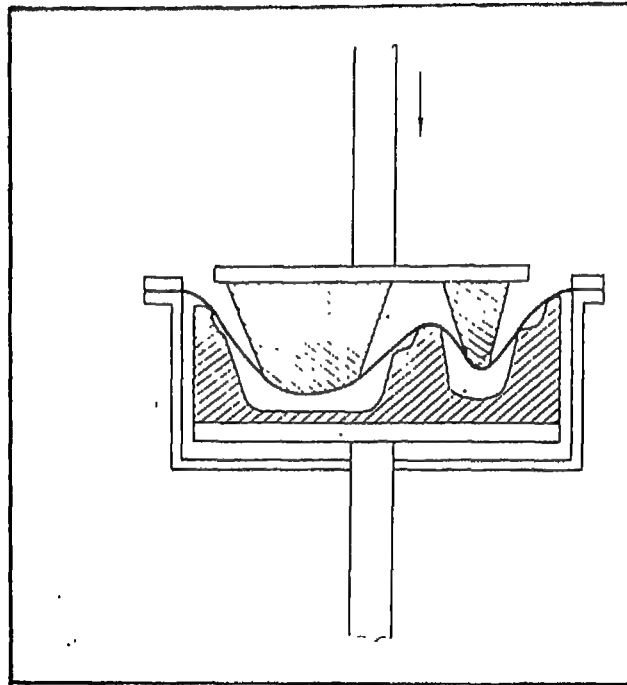
شكل (١٧): رفع القالب قبل عملية تفريغ الهواء



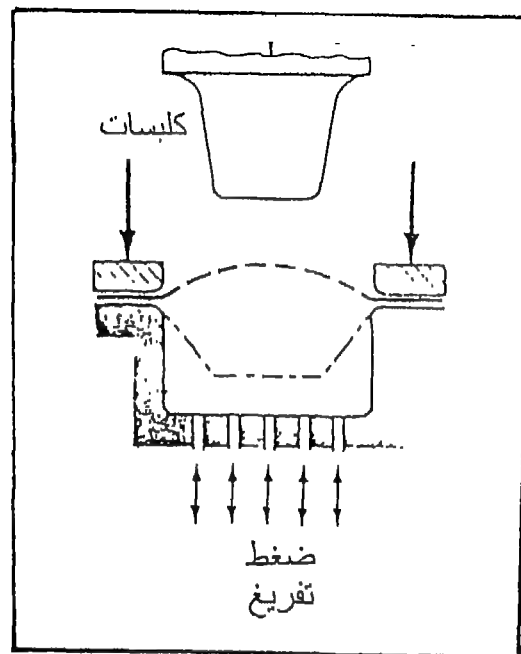
شكل (١٨): دفع هواء فى صندوق التفريغ بعد تسخين اللوح







شكل (١٩) التشكيل باستخدام السنبك



شكل (٢٠) التشكيل بالضغط والسنبك



٥- إمكانية حل القالب بسهولة من اللوح المشكل والقوالب يمكن أن تصنع من الخشب أو الجص أو المعدن أو الراتنج المستقر حرارياً. ويحفر بالقالب ثقوب يصل قطرها إلى حوالي ١٠ مم وبذلك يكون القالب جاهزاً للاستخدام.

## ٢- التشكيل بالضغط:

يسمى أحياناً "التشكيل بنفخ الهواء"، يتعامل مع سطح الأكريليك ويوجد طريقتان أساسيتان هما:

١- التشكيل المباشر بالضغط

٢- التشكيل الحر

### أ- التشكيل المباشر بالضغط:

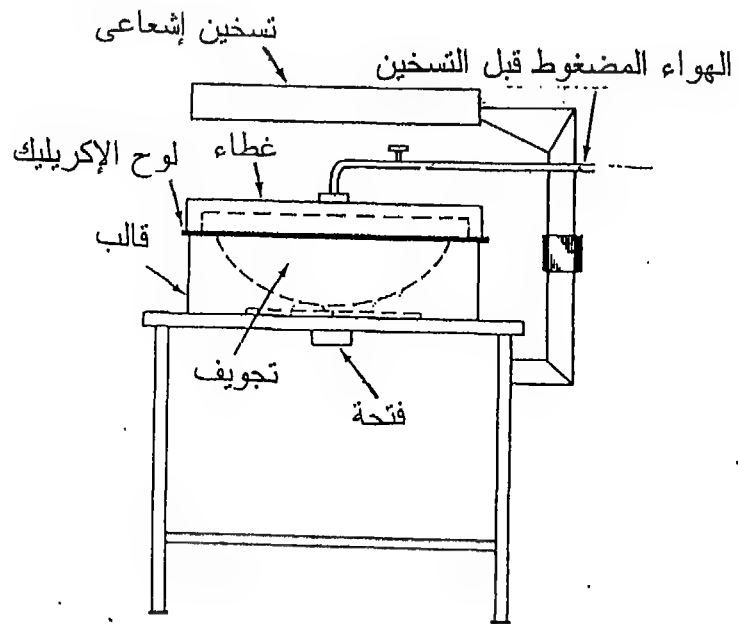
يتكون من قالب سلبى Negative Mold، توضع فوقه لوح الأكريليك مثبتاً بالمشابك كما في (شكل ٢١)، ويتم تسخين اللوح، ثم يغطي اللوح الساخن بسرعة بواسطة غطاء، ويدفع هواء ساخن بضغط خلال الغطاء، وعندئذ يندفع اللوح على القالب، ويتسرب أى هواء محبوس أسفل اللوح خلال ثقوب في القالب، وفي قاع الصندوق، وبعد التبريد يرفع اللوح المشكل من القالب.

### ب- التشكيل الحر:

هي طريقة بسيطة لإنتاج أشكال بسيطة ومعقدة حيث يوضع لوح ساخن من مادة الأكريليك بكلايات تحت ياقة لها شكل معين وسطها فتحة متصلة بمصدر هواء، وعندما يدخل الهواء فهي تنتفخ ويمكن تحديد شكلها بشكل الياقة، ونجد أن الفقاعة عندما تبرد تحتفظ بشكل النفخ ومن الممكن وضع القالب فوق الياقة لإنتاج مختلف الأشكال والهيئات (شكل ٢٢) (١٨).

وتتميز الأعمال المشكلة بهذه الطريقة بشفافية ضوئية عالية ويستخدم هذا التشكيل في عمل قبَاب بعض المباني أو المقصورات الخاصة بالطائرات. ويستعمل النفخ لإنتاج أنصاف الوحدات التي تضم بعد ذلك إلى بعضها للصق الأنصاف اليمينية إلى اليسارية<sup>(١)</sup> ولقد نفذت إحدى الشركات الأمريكية طريقة اقتصادية حيث يبتق الأكريليك أولاً على هيئة أنبوبة ثم تنفخ وهي مازالت ساخنة مرنة داخل الشكل المطلوب<sup>(٢)</sup>.

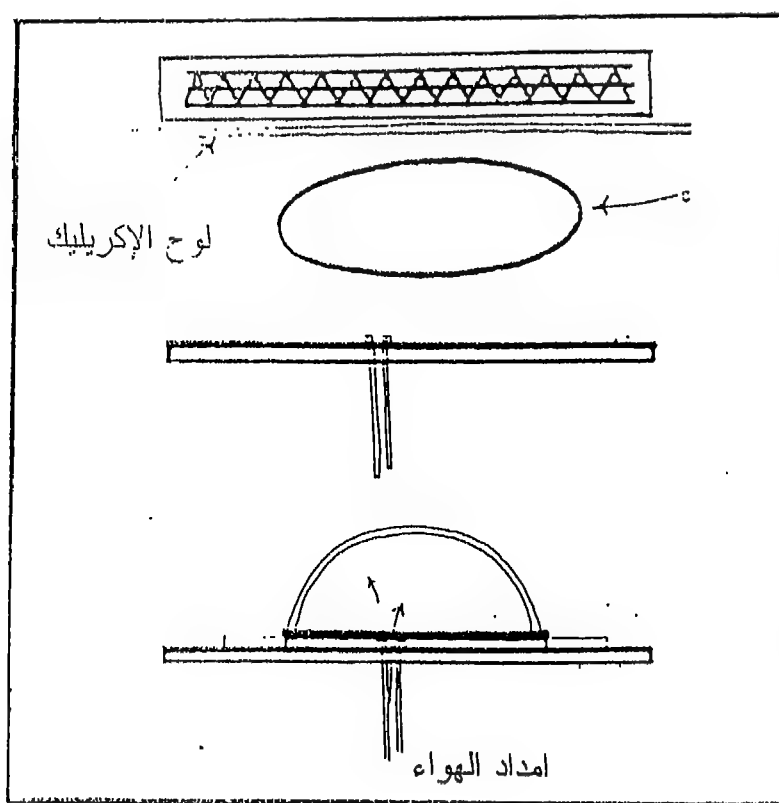




شكل (٢١) التشكيل بالضغط



-٦٩-



شكل (٢٢) التشكيل الحر بالضغط





### ٣- التشكيل بالقوالب المتوائمة:

هذه الطريقة تطلب نصفي قالب، حيث يتم تسخين لوح الأكريليك ليصل لدرجة ليونته، ثم يتشكل باستخدام الضغط الميكانيكي بين نصفي القالب. ويبين (شكل ٢٣) أسلوبا مبسطا للعملية، وحيث أن كلا من نصفي القالب يتصلان بكل سطح اللوح فإنه من الضروري أن يكون سطحي القالب مصقولين بدرجة مرتفعة أو يشكلتا تبعا لمتطلبات التشكيل.

وعادة ما تصنع القوالب من الألومنيوم أو الصلب، وتوضع في مكبس مائي أو هوائي، ويوضع اللوح الساخن بين نصفي القالب ويغلق المكبس، وعادة ما يبرد القالب بالماء، للتحكم في درجة حرارة القالب.<sup>(١٩)</sup>

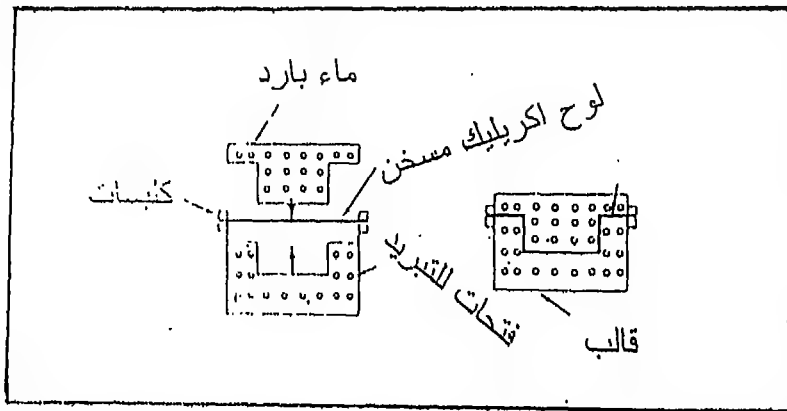
وتعتبر هذه الطريقة أكثر طرق التشكيل الحراري تكلفة، وذلك لأنها تتطلب نصفي قالب، وهي تتعامل مع الألواح ذات المساحات الكبيرة، بتفاصيل ليست عميقة، وكما إنها تعطي سمكا متجانسا للوح المشكل، وتوضح تفاصيله الحادة، وهي من أسرع طرق التشكيل الحراري<sup>(١٧)</sup>

وهناك طريقة أخرى للتشكيل باستخدام نصفي القالب وفيها يكون القالب عبارة عن كتلة خشبية مجوفة ذات سطح أملس لا يوجد به أى شائبة، ويجهز لوح الأكريليك حيث تقطع حوافه وتلمع ( إذا أردنا ) ونضعها داخل القالب ونسخنها ببطء إلى درجة الحرارة المطلوبة في فرن إلكتروني، ومن الضروري أن تتم عملية التبريد ببطء وانتظام لكي لا يحدث انبعاج أو انحناء، وتتم بواسطة وضع قطعة من القماش الناعم فورا على السطح بعد عملية التسخين، ثم يوضع النصف بالموجب للقالب فوق القماش، ونظرا لأن الخشب مادة عازلة فإنه يسمح للأكريليك بالتبريد البطيء وبسبب طبيعة وزنه فإنه يساعد الأكريليك على المحافظة على شكله وأخذ شكل القالب.

### طريقة عمل أشكال إسطوانية من لوح الأكريليك

يبدأ العمل في وجود قالب أسطواني من نصفين، يصنع من لوح مجوف من مادة ثقيلة بسعة مناسبة، أو من الحديد المطاوع كشريحة أسطوانية ذات وزن خفيف ومكون من جزئين بالطول وبهما مفصل بطول الحافة بحيث يكون القطر الداخلي هو القطر الداخلي المطلوب للإسطوانة (يحدد القطر حسب قطر الإسطوانة المطلوب تنفيذها) ثم يقطع لوح الأكريليك بعناية بالحجم الصحيح ويسخن في الفرن، حتى يصبح ليناً، ثم يوضع بالقالب حتى لا تظهر علامة الوصلات الطويلة على سطح الإسطوانة (شكل ٢٤).

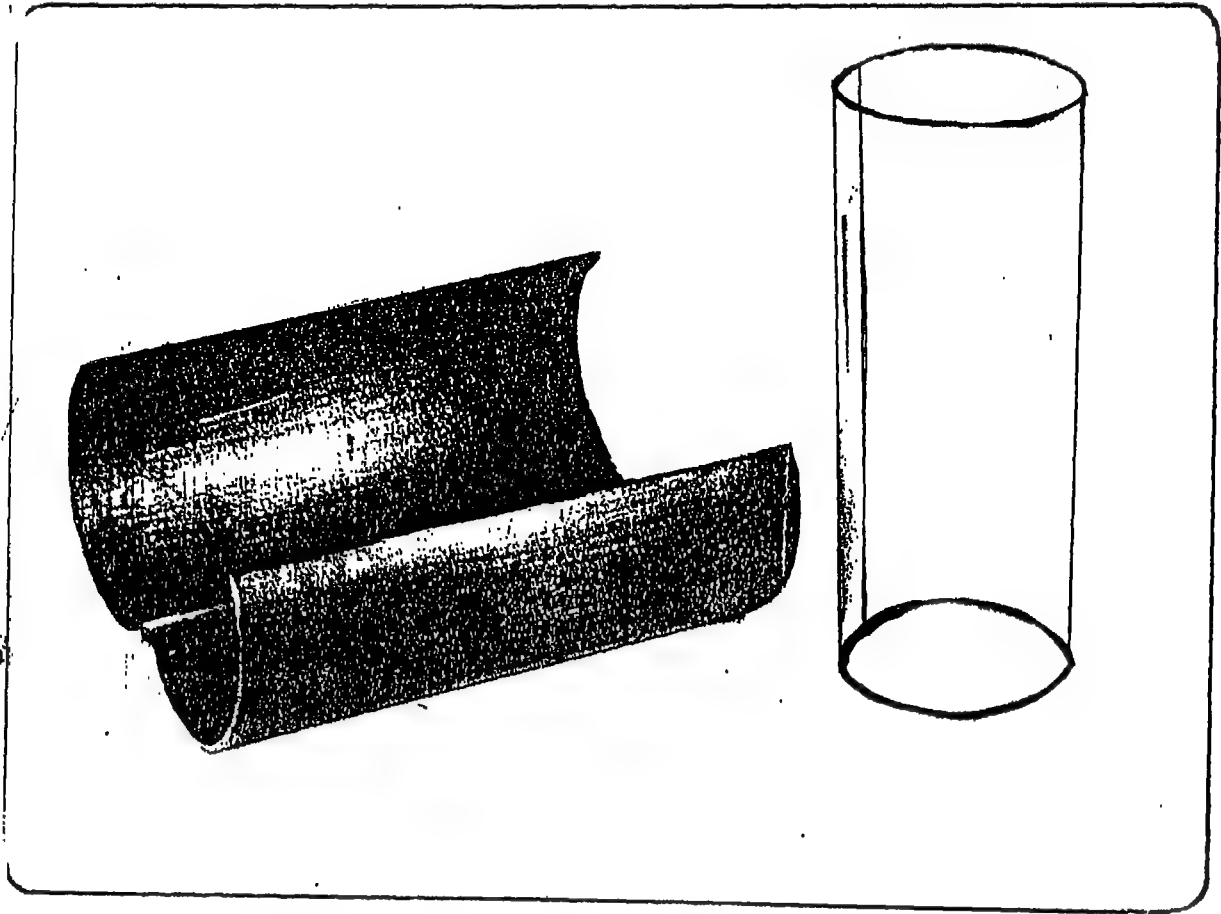




شكل (٢٣). التشكيل بالقوالب المتوائمة .



-٧٢-



شكل (٢٤) قالب معدني لشكيل اسطوانة من الإكريليك



أما إذا أردنا تشكيل أسطوانة مفردة فإننا نستخدم أنبوبة من الكرتون أو الورق المقوى، وتلتصق الحواف المفتوحة بلاصق إكريليكوي وقبل تجميع الحواف فإنه من الضروري ملاحظهم لضمان وصلة جيدة بحيث تكون الحافتان متلامستين على كل حد طولهما حيث لا داعي للضغط أثناء ثبات اللاصقة.<sup>(٢)</sup>

### نقسية لوح الأكريليك

هذه الطريقة تساعد على تقليل الضغط الداخلي الذي نشأ خلال التعامل مع الأكريليك بواسطة الماكينات أو خلال عمليات التشكيل، والعمل يتم تقويته عن طريق تعريضه لتسخين طويل في درجات حرارة مرتفعة، يعقبها تبريد بطيء ودرجات الحرارة هذه تكون تحت درجات حرارة التشكيل من  $71^{\circ}\text{C}$  -  $110^{\circ}\text{C}$  وتستمر من ساعتين إلى ٢٤ ساعة، وتؤدي هذه الطريقة إلى حدوث ثبات كبير في الأبعاد ومقاومة كبيرة للتشقق، كي تساعد أيضا في قوة اللحامات.<sup>(١٥)</sup>





## الفصل الثالث

### التشكيل بالصب



## التشكيل بالصب

من أبسط طرق إكساب اللدائن أشكالاً معينة صبها في قوالب، فعندما تكتسب اللدائن تركيبها الكيميائي النهائي المطلوب، فيمكن تسخينها حتى تليين بالدرجة الكافية، ثم تصب وتترك لتبرد فتتجمد بالتدريج. وفي بعض الأحوال يتم التفاعل نفسه بالتسخين أثناء عملية الصب وذلك ما يحدث في المنتجات الإكريليكية.<sup>(١)</sup>

فقد تكون مساحيق التشكيل محدودة الاستعمال نظراً لأن تشكيلها يحتاج إلى مكابس ضخمة معقدة وقوالب عالية التكاليف، أما إذا كان البلاستيك على هيئة عجائن أو محاليل سائلة فإنه يمكن صبها في قوالب من الخشب أو الرصاص أو السبائك المعدنية أو بعض المواد المرنة (حينما يراد صب وحدات معقدة دقيقة التفاصيل)<sup>(٣)</sup>

ويحضر خليط من المونمر ومن المادة المتبلرة السميكة السائلة أو المسحوقة، (حيث أن بوليمرات الأكريليك تذوب في المونمر) ويصب الخليط ويتم عملية البلمرة في القوالب بعد إضافة عامل مساعد قوى.

ولقد ساعدت عملية الصب أكثر من أي عملية أخرى على التقدم في تشكيل اللدائن وإنتشارها، وبواسطتها أمكن الحصول على عدد كبير من المنتجات.

وتنقسم عمليات الصب من حيث صورة المادة الخام التي يتم تشكيلها إلى عملية تشكيل مادة خام في الحالة المتعجنة وعمليات تشكيل في الحالة السائلة.

## أولاً: عملية التشكيل في الحالة المتعجنة

تنقسم أي عملية من عمليات تشكيل العجائن إلى مرحلتين رئيسيتين:

١- عملية كيميائية يحدث فيها تغير في بنية البلاستيك لتكوين البوليمر

٢- تشكيل المادة إلى الهيئة المطلوبة

إن الغالبية العظمى لللدائن الحرارية تتصف بلزوجة عالية حتى في درجات الحرارة العالية وعليه فإن تشكيلها يتطلب تعريضها لضغط خارجي ويطلق على طرق التشكيل في هذه الحالة تشكيل في الحالة المنصهرة أو Melt processing .



ويتم تشكيل اللدائن الحرارية بعد تسخينها لدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة الصهر لللدائن المتبلورة  $T_m$  وأعلى بكثير من درجة حرارة التحول الزجاجي لللدائن غير المتبلورة  $T_g$  ، كما يتم التبريد تحت هاتين الدرجتين، وعليه فإن كل من عمليتي التسخين والتبريد تكون ضرورية لإتمام التشكيل.<sup>(٨)</sup>

وتتم عملية التشكيل للعجائن بثلاثة طرق:

١- التشكيل المباشر في القالب

٢- الحقن

٣- البثق

#### ١ - التشكيل المباشر في القالب

لا شك أن الفنان يجد مزيدا من الاستعمالات لعجائن البلاستيك ومحاليله السائلة التي يمكن استخدامها عن طريق السبك إذ يعد أولا قالباً من المعدن مقسم إلى نصفين حتى يسهل إزالة الوحدات عندما يتم صنعها، ثم يصب فيه عجينة مناسبة ثم يلف القالب حتى يتم تغطية السطح الداخلي بشكل منتظم ويفرغ بعد ذلك الفائض من العجينة المناسبة، ويسخن القالب بسرعة إلى درجة كافية لجلتة طبقة البلاستيك، بحيث لا تصل إلى درجة تكوين الفقاعات وأخيراً يفتح القالب المعدني وترفع الوحدة المسبوكة رقيقة الجدران.

#### - التشكيل اليدوي المباشر:

ويمكن تشكيل عجائن البلاستيك الثقيلة والمناسبة دون الاستعانة بالقوالب، بواسطة التشكيل اليدوي البسيط حيث يتميز البلاستيك عن هذه المواد التقليدية بأنه أكثر ثباتاً في الشكل ولا يصير إلى الصلابة الهشة. كما أنه يتيح مجالات واسعة لاستخدام التأثيرات اللونية الثابتة<sup>(٩)</sup>

#### ٢ - التشكيل بالحقن

تمتاز الراتنجات المثينة بالحرارة بمقدرتها على التشكيل بالحقن بسهولة بالغة. ويمكن استخدام التشكيل بالحقن في صناعة وحدات تبلغ من الكبر حجم باب ثلاجة يزن ٥٥ رطل. ويجب أن نقدر أن التشكيل بالحقن الذي يتضمن ضرورة رفع درجة الحرارة لكمية كبيرة



نسبيا من المواد البلاستيكية فوق درجة انصهارها لا يمكن استخدامه بأمان إلا في حالة المواد المعروفة بتليينها بالحرارة والتي لا تعاني أى تغير كيميائي عند تسخينها.<sup>(١)</sup>

وقد تطورت عملية التشكيل بالحقن عن طريق السبك بالاسطوانات في المعادن إلا إنها تختلف عنها في أن البلاستيك لا ينصهر بل يبقى في حالة لزجة، وفي إنها لا تحتاج إلا إلى حرارة منخفضة لتليين البلاستيك لسهولة انسيابه، وكنيجة لذلك لا يتطلب الجسم إلا زمنا قصيرا للتبريد كي يجمد ويصل إلى درجة من البرودة يمكن معها رفعه باليد.<sup>(٣)</sup>

### ال قالب

يتكون القالب من نصفين يتم غلقهما بواسطة اسطوانة هيدروليكية ذات قدرة عالية ويحتوي على فتحات دقيقة للتخلص من الغازات والهواء.

### آلة الحقن

تتكون من أجزاء أساسية قياسية كما هو موضح في (شكل ٢٥) يتم تغذية البوليمر خلال قمع إلى إسطوانة الحقن والتي يتم تسخينها عند النهاية ناصية القالب لتسخين البوليمر لدرجة حرارة الحقن والتي تعتمد على أن يتم تسخين اللدائن الحرارية حتى درجة الحرارة فوق درجة الانصهار ما بين  $170^{\circ}\text{C}$  -  $320^{\circ}\text{C}$  م ويتم الاحتفاظ بدرجة حرارة القالب عند  $90^{\circ}\text{C}$  م ويتم الحقن بمعدل ٢ - ٦ دورة / دقيقة.

ويتم الحقن عند ضغوط عالية تصل إلى ١٤٠ ميجا باسكال تؤدي هذه الضغوط العالية إلى إندفاع البوليمر خلال قناة الدخول وإرتفاع درجة حرارته حتى  $150^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$  م عند قناة الدخول.

وعلى وجه العموم، فإنه للحصول على تشكيل سليم من عملية الحقن، يجب العناية بالمؤثرات التالية مجتمعة:

- درجة حرارة التسخين والتبريد

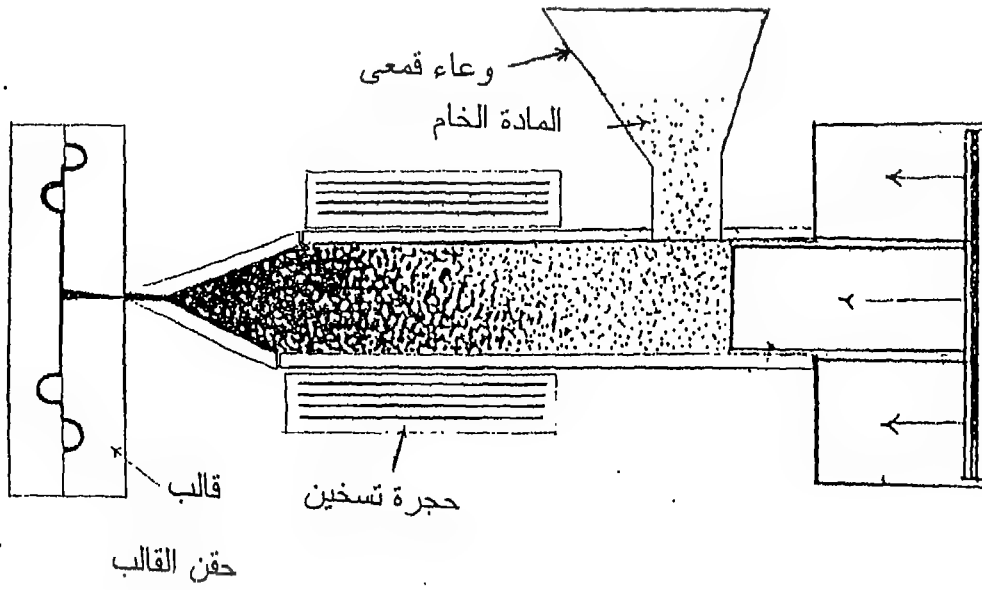
- سرعة الحقن

- اختبار قنوات وفوهات الدخول

ويؤدي استخدام سرعات حقن عالية جدا إلى تآكل سريع لبعض أجزاء القالب، ويعتبر التحكم في درجة الحرارة غاية في الأهمية وخصوصا عند قناة الدخول ، ففي حالة حدوث انخفاض سريع لدرجة الحرارة عند قناة الصب يحدث انسداد لقناة الصب، بينما يؤدي الارتفاع السريع في درجة الحرارة إلى منع التجمد.







شكل (٢٥) آلة الحقن



ويجب اختيار نظام قنوات وفوهات الدخول بعناية، ويمكن أن يؤدي استخدام فوهات دخول كبيرة إلى ارتداد جزء من البوليمر عند إزالة ضغط الحقن، كما يمكن أن يؤدي استخدام فوهات صغيرة للغاية إلى إعاقة الدخول، ويحدد موضع فوهة الدخول بالنسبة لتجويف القالب تسلسل ملء التجويف.

كما يؤدي انقسام البوليمر المتدفق داخل القالب إلى أكثر من تيار واحد نظرا لاستخدام أكثر من فوهة دخول واحدة إلى حدوث خط إنقواء وعدم تلاحم تيارات الدخول مما يعتبر نقطة ضعف في الجزء المشكل.<sup>(٨)</sup>

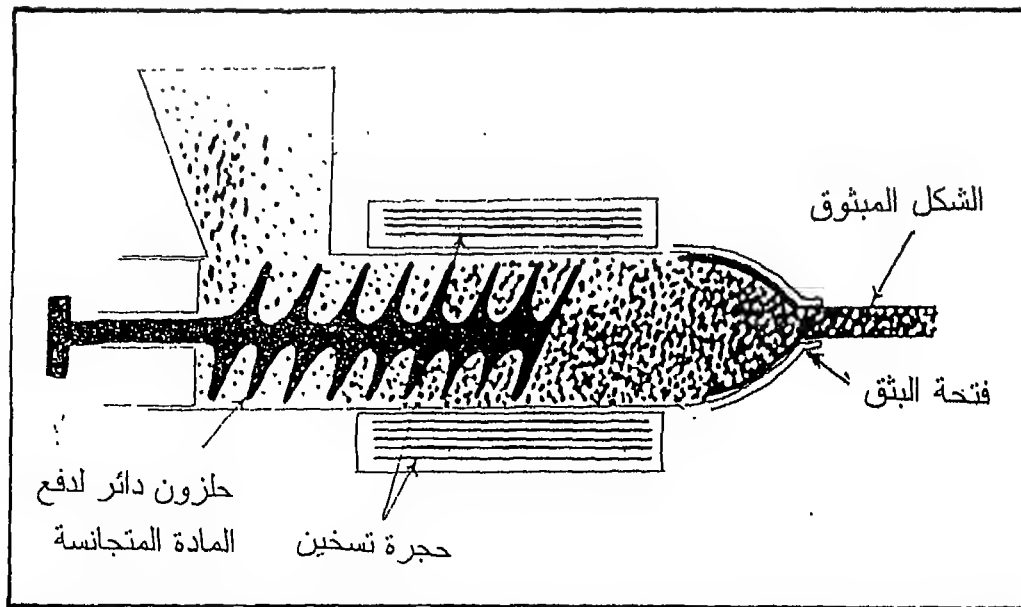
### ٣ - التشكيل بالبتق

وسيلة تستخدم بتوسع في الصناعة لإنتاج أشكال طويلة ذات مقطع ثابت مثل القضبان، المواسير من اللدائن الحرارية. والمبدأ هو تغذية حبيبات البلاستيك في حجرة تسخين حيث تتحول إلى مادة سميكة لزجة، وهناك مكبس حلزوني دائر يدفع المادة المتجانسة داخل فتحة، وهذه الفتحة تكون النمط للشكل النهائي للبتق. وعادة ما يتم تبريد البلاستيك، وهو يدفع خلال الفتحة ليصبح صلبا وغير قابل للذوبان ويحتفظ بالشكل المبتق<sup>(٩)</sup> (شكل ٢٦). والمشكلة الرئيسية في عمليات البثق هي ضبط درجة الحرارة بالمقدار الذي يلائم المادة المستخدمة ولذلك توجد بالآلة مجموعة من الأجهزة الكهربائية التي تضمن تدرج التسخين لدرجة منتظمة من الحرارة من بداية ملء الإسطوانة إلى نهاية البثق. وكذلك يتم التحكم بكل دقة في درجة حرارة الفتحة التي تتبثق منها المادة بعد تشكيلها<sup>(١٠)</sup>.

### ثانيا: التشكيل في الحالة السائلة

مونمر ميثيل الأكريلات عبارة عن سائل خفيف القوام، شفاف متطاير، ويمكن تحوله من سائل أحادي الجزيئات إلى متبلر صلب، وذلك عن طريق تعريضه للحرارة والضوء أو تعريضه لمحفز. ويستخدم الجمع بين الحرارة والضغط لبلورة الأكريليك الأحادي الجزيئات. والصب الناتج عنه يكون شفاف يشبه الكريستال، وله خواص بصرية عالية، ولكن على الرغم من ذلك فإن هذه الخامات ليس من الشائع استخدامها في مراسم الفنانين، وذلك لصعوبة التعامل معها، فالتحكم في الحرارة الخارجية والفقاع الداخلية التي تحدثها الغازات خلال عملية البلورة تعتبر من الصعوبات التي يتم مواجهتها خلال التعامل مع هذه الخامات. ولهذا السبب





شكل (٢٦) التشكيل بالبثق



فإن العديد من المتعاملين معها يقومون باستخدام فرن يمكن التحكم في درجة حرارته وضغطه وعلى الرغم من ذلك فإن هذه الطريقة قد لا تكون مناسبة مع الصب الكبير الحجم حيث يصعب التحكم في الحرارة المنطلقة، وفي هذه الحالة يتم عمل الصبة عن طريق عدة سكبات ( صبات ) .

والصب الشفاف يتم بصورة أكثر سهولة بواسطة استخدام راتنج البولى استر الشفاف، وعلى الرغم من إنه ليس شفافا بصورة كاملة مثل الإكريليك أحادي الجزيئات إلا إنه عملي ويسهل التعامل معه بصورة عامة داخل أستوديو الفنان.<sup>(١٥)</sup>

### صب ألواح الإكريليك

استعمال الوحدات الأحادية من الخامة "المونمر" في عمليات السبك هو في الواقع إجراء عملية بلمرة في موقع الصب، ويمكن أن تجري العملية باستخدام محلول يحتوي بوليمر ذائب في المونمر وذلك حتى تخفض كمية المونمر الذي يحتاج إلى بلمرة. وأهم عملية من هذا النوع هي صب ألواح الإكريليك، إذ يصب المونمر الأحادي مع قدر ضئيل من عامل حفاز، مثل فوق أكسيد عضوي بين لوحين من الزجاج المسطح، تفصل بينهما جوانات قابلة للانضغاط، ثم تسخن في أفران تحت تنظيم محكم للحرارة وزمن التسخين<sup>(١)</sup>، وتتم عملية البلمرة بتسخين السائل المصبوب لعدة ساعات عند درجة ٩٠° مئوية ولما كانت عملية البلمرة تتسبب في ترابط الوحدات كيميائيا، مما ينتج عنه انكماش في الحجم يبلغ نحو ٢٠%، فإن هذا الانكماش يتابع بضغط الجوانات حتى تعطي لوحا بالشكل المطلوب عند نهاية العملية.

ويمكننا بنفس الطريقة بلمرة أشكال أخرى كالقضبان أو الكتل، وقد أستخدمت هذه الظاهرة في عملية الإطمار المستعملة لحفظ العينات النباتية الجافة وما إليها، فتغلق العينة في وعاء زجاجي يملأ بعناية تامة بمحلول ثقيل القوام للأحادي والبلمرة مع تجنب أحداث أي فقاعات هوائية ثم تجري عملية البلمرة ببطء حتى نتفادى أى تسخين زائد للعينة نفسها<sup>(٨)</sup>.





### الخواص التي تميز التشكيل بالعجائن

١-المادة الأولية اللازمة للتشكيل تكون في هيئة مسحوق محبب أو شرائط أو في حالة المواد المعاد تشكيلها على هيئة قطع كسر صغيرة غير منتظمة الشكل. و يجب ملاحظة أن تكون المواد الأولية خالية من الرطوبة.

٢-جزء من التسخين اللازم لتعجين المادة الخام يتم بواسطة مصدر خارجي، والجزء الآخر ينتج من الحرارة الداخلية، وتؤدي زيادة درجة الحرارة إلى حدوث تلف دائم، فمن الممكن أن يتعرض الإكريليك إلى تحلل الجزيء المتبلمر وتتكون غازات تؤدي إلى حدوث فقاعات.

٣-تتعرض البوليمرات إلى تغير كبير في الحجم أثناء التشكيل نتيجة لإعادة ترتيب الجزيئات وخلق روابط تساهمية بينية، وتعتمد هذه الظواهر على العامل الزمني حيث يزيد الانكماش مع انخفاض سرعة التبريد وزيادة درجة الحرارة.

٤-يجب اختيار درجة حرارة التشكيل بحيث تقع في مجال درجة حرارة يكون فيها معدل تغيير اللزوجة مع درجة الحرارة منخفضا وإلا نتج عن ذلك ملء فراغات القالب للأشكال المعقدة بدرجات غير متساوية.<sup>(٨)</sup>



## الفصل الرابع

### أساليب التجميع



يتم ربط العديد من أشكال بلاستيك الأكريليك التي تم نشرها وصنفرتها وتلميعها، أو تجميعها معا بواسطة لاصق مناسب، أو بعملية لحام، وأشكال الأكريليك يتم بناؤها أو تكوينها من كتلة رقيقة أو ثقيلة أو ألواح مصفحة، أو مزيج من الألواح أو قضبان من الأكريليك أو أنابيب، كما يمكن استخدام خيط الصيد النايلون حيث يمكن إعطاء مؤثرات خطية.

وهناك العديد من الطرق التي يمكن استخدامها لإتمام عملية التجميع، ولكن أكثرها

شيو عا يمكن تلخيصها إلى:

أولا : الربط عن طريق اللصق

ثانيا : اللحام

ويوفر استخدام المواد اللاصقة إمكانية الحصول على روابط قوية جدا على الرغم من أنها ليست وسيلة مناسبة لكل الخامات البلاستيكية. أما اللحام فينتج عنه أيضا روابط قوية، ولكن من الممكن أن يتسبب ذلك في حدوث تكثيف للضغط أو الجهد في المساحة الملحومة، وكلتا هاتين الوسيلتين ينتج عنهما روابط ولحامات دائمة.

### أولا : الربط بطريقة اللصق

توجد ملاحظة عامة، أنه عندما يتم وضع سطحين مستويين الشكل معا لا يتحقق بينهما التصاق. وذلك لسببين، السبب الأول: أن الأسطح تكون غير متساوية على المقياس المجهرى، بحيث تكون المساحات المتلامسة مع بعضها في واقع الأمر قليلة جدا، السبب الثاني: أن كل خامة لابد وأنها قد امتصت ذرات ميكروسكوبية صغيرة من الجو مما يشكل طبقة فاصلة ضعيفة على السطح.

وفي العصور القديمة تم اكتشاف أن الخامات الصلبة يمكن لصقها معا بقوة عن طريق وضع سائل فيما بينها. مثال على ذلك، فإنه من المعروف جيدا أنه إذا تم وضع طبقة رقيقة من الزيت بين لوحين من الزجاج، فإنه سيصبح من الصعب جدا فصلهما عن بعضهما بعضا. وبذلك يكون الزيت مادة لاصقة فعالة بين لوحى الزجاج. وعلى أية حال فإن اللوحين يمكنهما أن ينزلقا فوق بعضهما البعض، ومن ثم فإنه من الضروري أن المادة اللاصقة يجب أن تجمد وتصبح صلبة مع الوقت وذلك كي تعطي قوة للربط.



واليوم، تستخدم المواد اللاصقة في تطبيقات بنائية كثيرة، ولكن تطورها تم على أساس فني، أكثر من كونه تطور علمي. ولعمل أي التصاق بين أي جسمين جافين يتميزان بالصلابة لا بد أن يكونا متلامسان بصورة جيدة عبر مساحة عريضة. وهذا في حد ذاته يكون غير ممكن تبعا لخشونة طبقات السطح كما تبدو جلية تحت الميكروسكوب.

ويكون الهدف من استخدام المادة اللاصقة لذلك هو ملء الأجزاء غير المنتظمة في السطح وبذلك تضاعف من مساحة التلامس بين السطحين المراد لصقهما (شكل ٢٧). ولتحقيق هذه الغاية يجب أن تكون المادة اللاصقة أول الأمر سائلة، وأن تتجمد بعد فترة وجيزة وتحمل الضغط<sup>(١٤)</sup>.

### مواد اللصق

توجد أنواع عديدة من البلاستيك، ويستخدم لكل منها نوع معين من اللاصق الجيد، وقد يتوفر اللاصق برقم أو علامة تجارية معينة في الأسواق للصق قطعتين من نفس المادة من البلاستيك. المعين، أو قد يكون هذا النوع من اللواصق مناسباً للصق نوع من البلاستيك مع نوع آخر من البلاستيك أيضاً أو مع مادة أخرى مثل الخشب أو الحديد أو الورق<sup>(٢)</sup>. وتقوم الشركات المنتجة للأكريليك بإسداء النصح حول النوع المناسب من اللواصق لتثبيت منتجاته<sup>(١)</sup>.

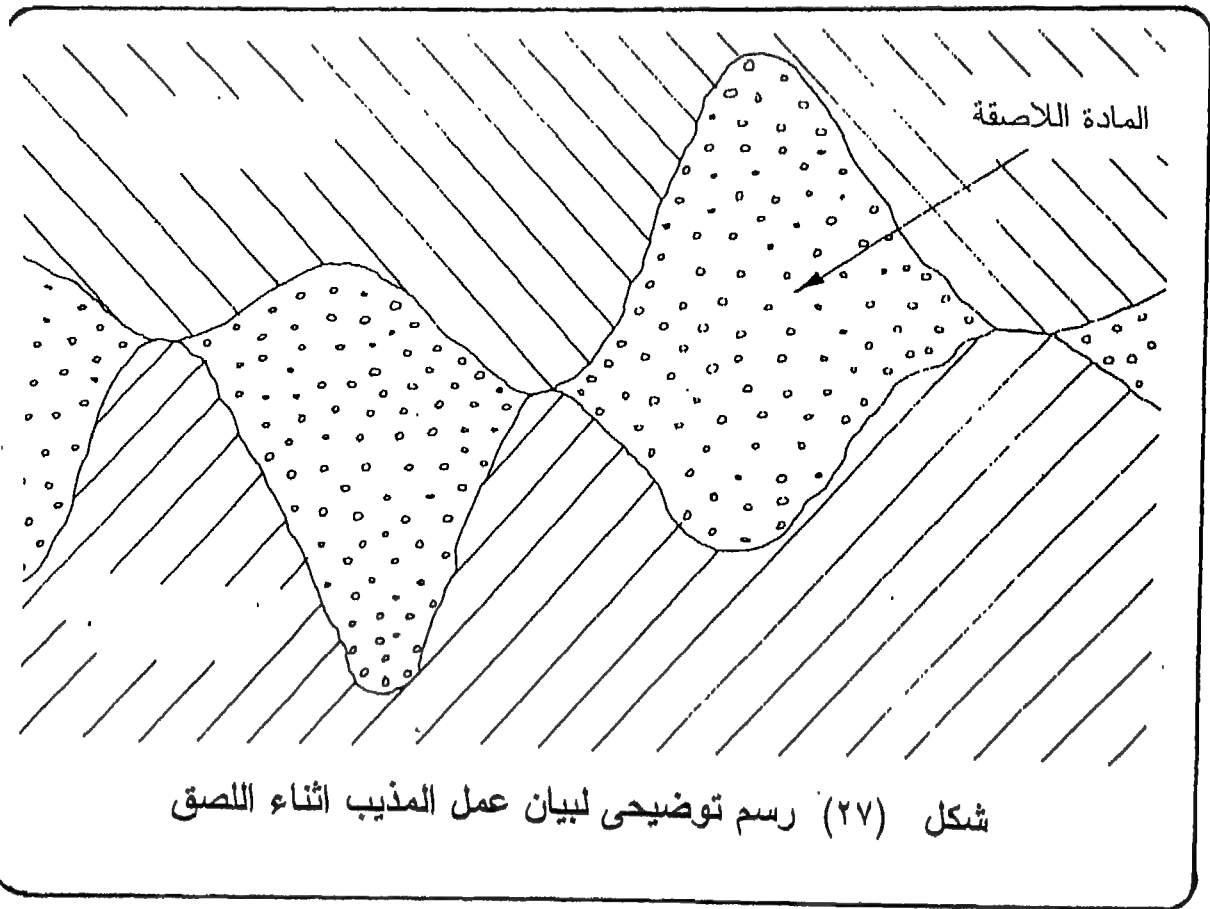
### خواص مواد اللصق

السطح الأساسي هو الخامة التي يتم تغطيتها باللصق أو بالدهان، وتتميز مادة اللصق باللزوجة وهي الخاصية التي تسبب ارتباط السطح المغطى بها مع سطح آخر عند ملاصقه له، وبمعنى آخر اللزوجة هي قدرة المادة اللاصقة على الالتصاق. ومادة اللصق هي المادة التي تبلى السطح لإمكان لصق سطحين مع بعضهما. وتعرف قوة الانزعاع Peel strength بأنها مقاومة اللاصق لنزعه من السطح، وتقدر بالرطل لكل بوصة عرضية من مادة اللاصق. وبالرغم من أن كثيراً من اللواصق وخاصة الإيبوكسي لها مقاومة للنزع تصل إلى ٥٠٠٠ رطل على البوصة، فإن كثيراً من اللواصق تكون مقاومتها للنزع منخفضة. ولذا يلزم حماية الوصلات الملتصقة من قوة النزاع ويمكن عمل ذلك بالاستعانة بالبرشمة أو أنواع أخرى من التثبيت، وكذلك فإن وصلات اللصق ضعيفة لعملية الشد وبراغى ذلك عند تصميم الوصلات<sup>(٢١)</sup>.





-٨٦-





ويمكن تقسيم مواد اللصق بصفة عامة إلى أربعة أقسام:

١. مواد اللصق المذيبة Solvent Cement
٢. مواد اللصق من الجزيئات الأحادية Monomeric Cement
٣. مواد اللصق المرنة Elastomeric Cement
٤. مواد اللصق المستقرة حرارياً Thermosetting Cement<sup>(١٦)</sup>

## ١. مواد اللصق المذيبة

تستخدم مواد اللصق المعتمدة على المذيبات لربط مكون من الثرموبلاستيك مع مكون آخر من نفس النوع وهذا النوع من المواد اللاصقة قد يكون إما مذيب نقي يتفاعل مع الأسطح المراد ربطهما معاً، بحيث يتم صهرهما معاً، وبذلك يحدث الالتحام الفعلي بين الأجزاء ثم يتبخر المذيب من خلال سطح الخامة، ويترك وراءه وصلة شفافة. أو قد يحتوي المذيب على بعض الخامة المراد لصقها. وتكون هذه الطريقة مناسبة لخامة الأكريليك فيمكن استخدام المذيب كما هو أو جعله أسمك بإضافة نشارة الأكريليك، وهنا يعمل اللاصق اللزج فقط كحامل للمذيب وتعتبر هذه الوسيلة أقوى وسائل اللصق لأن عملية الربط تتم بتأثير تبخر المادة المذيبة. وينتج عن تبخر المذيب انكماش في مادة اللحام واجهادات في منطقة اللحام، كما قد يؤدي تبخر المذيب إلى وجود فراغات في طبقة اللصق<sup>(١٦)</sup>، فاختيار مواد اللاصق عامة يعتمد على معدل بخر المادة المذيبة بالنسبة للتجميع الصعب المعقد، ويكون من الأفضل دائماً استخدام مذيب بطيء التبخر وذلك كي يسمح بالمعالجة اليدوية للأجزاء التي يتم ربطها معاً، وفي نفس الوقت فإن معدل التبخر لا يجب أن يكون بطيئاً جداً بدرجة تفوق التشكيل<sup>(١٤)</sup>. ومن أنواع اللواصق المذيبة التي ينصح باستخدامها لربط الأكريليك هي كلوريد الميثيلين — أو كلوريد الإيثيلين Ethylene dichloride, Methylene chloride<sup>(١٥)</sup>.



## ٢. مواد اللصق من الجزيئات الأحادية

تشكل هذه اللواصق مادة جديدة مجمعة للجزيئات في الوصلة، أكثر من كونها مذيب، وبذلك تقوم بربط الأجزاء مع بعضها وهي تكون من نفس نوع المونمر (الوحدة البنائية) للثرموبلاستيك، فالبولي ميثيل ميثاكريلات (أكريليك) يتم ربطه باستخدام ميثيل ميثاكريلات (المونمر) كمادة مذيبة، وربما تحتوي على العامل المساعد Catalyst لإتمام عملية البلمرة في منطقة اللحام، وهكذا تتم عملية الربط عن طريق عمليتي البلمرة والتبخير<sup>(١٦)</sup>.

ويوجد نوع آخر جيد من هذه اللواصق ينتج عنه وصلات شفافة ويحتمل التغيرات الجوية في الأماكن المفتوحة (يحمل الاسم التجاري PS-30). وهذا النوع يصلح للصلق كل أنواع الأكريليك المصبوبة والأجزاء المشكلة من بودرة تشكيل الأكريليك. ويتماسك اللاصق المتبلر الموجود في حاوية موضوعة في درجة حرارة الغرفة بعد حوالي مرور ٢٥ دقيقة بعد مزج المكونات، ويجب مراعاة أنه سيتماسك بسرعة أكبر في درجات الحرارة المرتفعة وتصبح اللحامات قابلة للتعامل معها عادة بعد مرور حوالي ٤ ساعات من لحامها حيث تصبح صلبة بدرجة كافية<sup>(١٧)</sup>.

### طريقة عمل لاصق أكريليك

يمكن عمل لاصق بإذابة شرائح من البولي ميثيل ميثاكريلات في مذيب مثل الكلوروفورم، ويجب إعطاء وقت كاف للسماح بذوبان الشرائح تماما قبل استعمالها، وذلك باستخدامها بعد يوم واحد من إعدادها، ويجب التذكر جيدا أن المذيب سريع التطاير، فيراعى تجهيزه في زجاجة محكمة الغلق ضد الهواء. وهناك لوصق كثيرة أكريلكية تحمل أسماء تجارية مثل "تينسول" بأرقام ٣، ٦، ٧ ومن خصائص هذه الأنواع اكتساب صلابة وقوة ومقاومة للعوامل الجوية بعد تصلبها.

ويمكن لحام الأجزاء المكسورة من ألواح الأكريليك بمعالجة هذه الأجزاء بالأسيتون أو حمض الخليك الثلجي أو ثنائي كلوريد الإيثيلين حيث تقوم هذه السوائل بتليين الأجزاء المكسورة وإذابة قليل من خراطة البولييمر في ثنائي كلوريد الإيثيلين أو حمض الخليك أو الأحادي لتنتج مادة لاصقة تقوم بلحام الأجزاء<sup>(١٨)</sup>.



### ٣. اللواصق المرنة

قد تؤدي الحركة بين جسمين ملتصقين - مثلما يحدث في حالات التمدد الحراري - إلى إضعاف نقطة الالتصاق بمواد اللصق العادية، وهذا يلزم استخدام مواد اللصق المرنة، حيث يمكنها أن تتحمل إجهادات كبيرة. وهذه الخاصية تجعلها مناسبة للاستخدام في الوصلات بين التراكيب الضخمة، وفي حالات التحرك بنسب كبيرة يلزم أن تكون مواد اللصق المرنة سميكة بدرجة كافية.

وعادة ما يستخدم مطاط البيوتاديين - ستايرين - ويمكن أن يذاب اللاصق المرن في مذيب أو يستحلب في الماء<sup>(١٩)</sup>.

### ٤. اللواصق المستقرة حرارياً

عادة لا تذوب أنواع البلاستيك المستقر حرارياً في معظم المذيبات طالما أنها قد تم تثبيتها حرارياً، وهذا النوع من اللواصق يستخدم بكثرة في المعادن ومواد البناء وينتج عنه وصلات ذات قوة تحمل عالية جداً. وتتميز مركبات الفينول فورمالدهيد بأن لها أفضل خصائص مقاومة للظروف الجوية مما يفسر استخدامها في الأخشاب المعرضة للأجواء.

والإيبوكسي قد يكون أكثر تكلفة، ولكنه الأنسب في التطبيقات التي تحتاج إلى صلابة وقوة ربط عالية وتحمل جيد للظروف الجوية، كما يستخدم في الأسطح غير المتطابقة. حيث أن معامل انكماش الإيبوكسي ضئيل عند النضج، فإنه لا يتسبب في إجهادات محسوسة عند الوصلات. ولا تتوقف قوة وصلات الإيبوكسي على تجانس المادة اللاصقة، وعلى هذا فإنها تؤدي الغرض كلاصق وكذلك كمالى للفراغات<sup>(٢٠)</sup>.

### إعداد السطح لعملية اللصق

عند تجميع قطع الأكرليك باللاصق، يجب إعداد الأسطح مسبقاً للحصول على أفضل تثبيت، وتوجد العديد من الخطوات التي يمكن اتخاذها. وتتمثل أول خطوة في إزالة أكبر قدر ممكن من المواد والذرات الغريبة بقدر المستطاع. وحتى بعد إجراء عملية التنظيف هذه، فلن السطح الذي قديبدو نظيفاً بالنسبة للعين المجردة، فإنه يكون ملوثاً إذا نظرنا إليه عبر





الميكروسكوب، وسبب ذلك يكمن في أن أي سطح مكشوف يكون به طبقة من الغازات والأبخرة الممتصة ..... الخ.

لذلك يمكن القول أن إعداد السطح يتضمن مرحلتين:

أ- إزالة الشحم

ب- الكشط

أ- إزالة الشحم

يمكن إجراء ذلك على أكمل صورة عن طريق تعريض السطح لحمام بخار من مذيب مثل ثلاثي كلورو الأثيلين trichlorethylene، أو ثلاثي كلوروفلورو الأثيلان trichlorotrifluoroethane. وأثناء العمل قد لا يتوفر حمام البخار، والبديل الأقل فعالية هو أن نقوم بغمس المواد المراد لصقها في حمام يحتوي على مذيب. ولا يجب استخدام فرشاه أو قطعة قماش مغموسة في المذيب لأن الشحم قد يتجمع في المذيب وفي الفرشاة أو قطعة القماش، وقد يقوم بإعادة تلوث السطح مرة ثانية.<sup>(١٤)</sup>

ويمكن أيضا غسل قطع الإكريليك المراد تثبيتها بماء دافئ درجة حرارته تتراوح بين ٥٠ إلى ٦٠ درجة مئوية، ويترك حتى يجف.

وعند اللصق يجب توخي الحذر، وأن تصل المادة اللاصقة إلى الأماكن المراد لصقها فقط، حيث أنه لو تأثر السطح المصقول بواسطة القطرات الزائدة، فإنها تتلف بفعل المذيبات الباقية داخل اللاصق ولا يمكن معالجتها بالطرق العادية<sup>(١٥)</sup>

ب- الكشط

وتعتبر أفضل طريقة لكشط سطح المواد البلاستيكية هي أن يتم حكها بحجر كبرير الحبيبات من الألومينا أو كربيد السيلكون Alumina or Silicon Carbide. وإذا لم يتوفر ذلك فإن البديل هو استخدام ورق الكشط. وكل الجزيئات والشذرات لابد من إبعادها باستخدام الفرشاه أو بنفخها من على السطح.<sup>(١٤)</sup>



الشروط الواجب توافرها في مواد اللصق

- أن يتوفر بها اللزوجة واللصق
- أن تكون لها قدرة عالية على التوغل والاختراق
- أن تكون شديدة التحمل والثبات
- ألا يتغير شكل المادة التي سيتم دمجها وزيادة تماسكها
- أن تكون شديدة المقاومة للأشعة فوق البنفسجية التي تتولد من أشعة الشمس<sup>(٢٠)</sup>

### لصق الأكريليك مع مواد أخرى

يمكن لصق الأكريليك بالمطاط أو الخشب أو الفينيل أو لوح البلاستيك أو خلاص السليلوز أو الفينول باستخدام مواد خاصة مثل PS-30 الذي سبقت الإشارة إليه. ولربط الأكريليك بالمعدن يفضل استخدام السليكون أو لاصق بولي سلفيد Poly Sulfide ويمكن أيضا استخدام لاصق من الإيبوكسي Epoxy لمثل هذا الغرض

### التشكيل بالتصفيح Laminating

يمكن الحصول على تأثيرات خلابة عن طريق تجميع ألواح بلاستيك الأكريليك خلف بعضها، باستخدام لاصق التصفيح الملون. ويمكن إبداع تركيبات ثلاثية الأبعاد بهذه الطريقة. وعادة ما يتم صنع لاصق التصفيح الملون من مذيبات عالية القوة مثل كلوريد الأثيلين أو ثنائي كلوريد الإثيلين أو مزيج من كلاهما.

وتتوفر أنواع لواصلق التصفيح تجاريا في مجال واسع من الألوان الشفافة، تتضمن أشكالاً وألواناً مشعة. ويمكن إضافة كميات وفيرة من صبغة التصفيح للوح الأكريليك بواسطة قطارة العين أو ملعقة وذلك لإبداع وخلق وحدات ألوان أو تأثيرات لونية أخرى. ويتم وضع لوح ثاني من بلاستيك الأكريليك مباشرة فوق الصبغة وهي مبتلة، ويتم الضغط بخفة، وبذلك سيتم خلق نسج داخلي بواسطة زيادة وتخفيف الضغط على لوح الأكريليك.



ويمكن ضم وإضافة بعض الخامات الحرة مثل الخيوط الملونة والرقائق المعدنية وأوراق الذهب والفضة والسوائل ومواد أخرى، ووضعها بين هذه الألواح للحصول على تأثيرات خاصة.

ويمكن تصفيح عدة ألواح معا لبناء كتل من البلاستيك الأكريليك، ويمكن أن نقوم بنحتها لاحقا أو صنفرتها أو التعامل معها ميكانيكيا.<sup>(١٥)</sup>

## ثانيا : اللحام

تطور. لحام المواد البلاستيكية مباشرة قبل الحرب العالمية الثانية وأثناءها، عندما حدث نقص حاد في المعادن المقاومة للتآكل والصدأ، مما جعله من الضروري إنتاج سلع وأدوات من ألواح البلاستيك. ولقد كان معظم الإنتاج المبكر مصنوعا من البولي كلوريد الفينيل PVC الذي احتاج إلى عمليات اللحام لإنتاج مكونات متنوعة، ويمكن الآن وصل معظم البلاستيكات الحرارية معا بواسطة اللحام ويوجد مجال واسع من التقنيات لإجراء عمليات اللحام، ويعتمد الاختيار بصورة أساسية على الخامات التي سيتم لحماها، وهندسة الأجزاء التي سيتم وصلها معا، والقوة المطلوبة من اللحام. وفي بعض الحالات تكون قوة اللحام قريبة إلى حد كبير من قوة الخامة الأساسية. وفي العديد من هذه الحالات تكون التجربة والخبرة هما أكبر عاملين يمكن الاعتماد عليهما لإنتاج أفضل اللحامات أثناء عملية التجميع<sup>(١٤)</sup>

## أنواع اللحام

١. اللحام بالغاز الساخن Hot gas welding
٢. اللحام بالاحتكاك الدائري Spin welding
٣. اللحام بأدوات ساخنة Heated tool welding

### ١. اللحام بالغاز الساخن

في عمليات تجميع البلاستيك، هناك فرق بين اللحام بمعنى ربط الأجزاء التي عادة ما تكون ذات سمك كبير نسبيا، وبين التحام الأجزاء بصلقها والتي عادة ما تستخدم للصق أو لحام الألواح الرفيعة.



وبما أن اللدائن من نوع البلاستيك الذي يمكن إعادة تشكيله بالحرارة مثل المعادن - فإن تقنية اللحام بالغاز المستخدمة مع المعادن يمكن تطبيقها على اللدائن الترموبلاستيك.

فطريقة اللحام بالغاز كانت أول ما تم تطويره للاستخدام مع المواد البلاستيكية. ولما كان بوري اللحام العادي المستخدم في حالة المعادن يصل إلى درجات حرارة عالية جدا لا تناسب البلاستيك وتصل إلى ٣٣١٥ °م بالإضافة إلى أن معامل التوصيل الحراري المنخفض للبلاستيك يستلزم درجات حرارة أقل كثيرا وقت أطول حتى يمكن للحرارة أن تتخلل في طبقة البلاستيك من السطح إلى العمق، قبل أن تحترق الطبقة السطحية، ولما كانت المعادن بلورية ولها درجة إنصهار محددة بدقة، بينما أن الترموبلاستيك في العادة لها مدى واسع ما بين درجة الليونة ودرجة الانصهار، فإن الترموبلاستيك أسهل في عملية اللحام.<sup>(١٩)</sup>

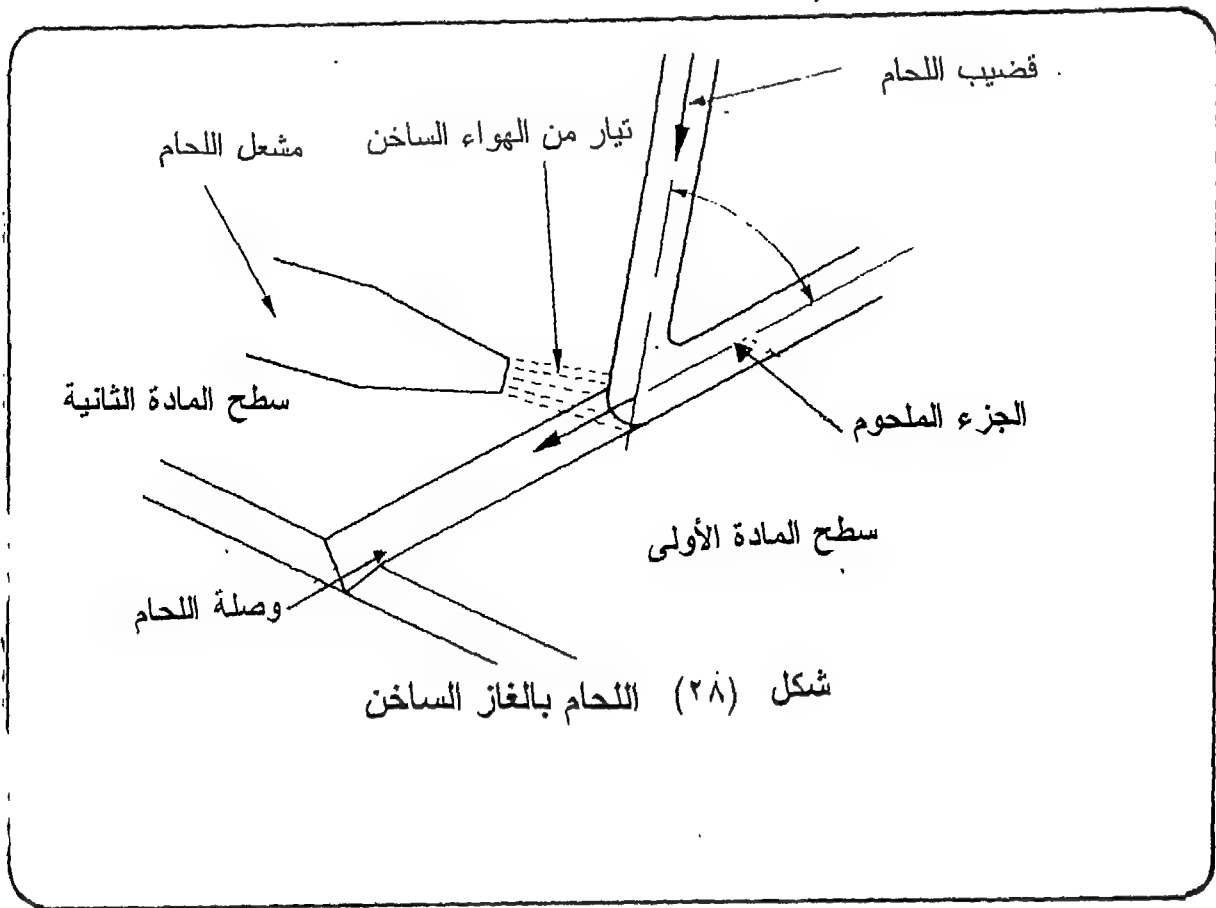
### عملية اللحام بالغاز الساخن

تعتمد هذه الطريقة بشكل أساسي على إذابة منطقة اللحام بواسطة استخدام تيار من الغاز الساخن الصادر من مشعل اللحام المحمولة يدويا هذا الغاز عادة يكون هواء أو نتروجين.

يتم قطع قضيب اللحام (من نفس الخامة) إلى الطول المطلوب وهو يكون أطول قليلا من طول خط اللحام، ويتم شطف حافة القضيب بزاوية حوالي ٦٠ درجة لسهولة تسخينه للبدء في عملية اللحام. ويتم تسخين المسطح وكذلك القضيب مبدئيا مع وضع القضيب على زاوية قائمة وعندما تصل حرارة القضيب إلى الدرجة المناسبة فإنها ستلتصق بالسطح، وأثناء استمرار عملية اللحام يلزم إجراء ضغط خفيف على القضيب مع حركة موجية للمسدس تتراوح بين القضيب والعمل لتوزيع الحرارة بينها. وللحصول على جودة عالية في اللحام يلزم تمرير البوري عدة مرات بدلا من مرة واحدة، بسرعة أفضل من البطء. ، يوضح (شكل ٢٨) نتيجة اللحام<sup>(١٩)</sup>.









ومشاعل اللحام بالغاز الساخن تسخن عادة كهربائيا وقادرة على أن توفر درجة حرارة للغاز ما بين ٢٠٠° مئوية إلى ٣٠٠° مئوية عن فوهة المشعل، ويجب أن يكون الغاز جافا ونظيفا ويسرى بمعدل تدفق من ١٥ إلى ٦٠ لتر/دقيقة في ضغط يتراوح بين ٤٠ إلى ١٠٠ عقدة/متر مربع.

ولقد أثبتت الاختبارات أن نوعية الغاز تؤثر في مدى صلابة اللحام، ونجد أن أقوى اللحامات يمكن عملها باستخدام الأكسجين أو النيتروجين بينما نجد أن غاز ثاني أكسيد الكربون ينتج أضعف أنواع اللحامات<sup>(١٤)</sup> وفي العديد من الحالات يكون أفضل أنواع الغازات المستخدمة هو الهواء المضغوط حيث إنه غير مكلف وينتج عنه لحامات مرضية.

هناك طريقة أخرى في عملية اللحام تعتمد على بثق مادة اللحام من فتحة المسدس مع تسخين سطح العمل في نفس الوقت وتلتصق المادة المنبثقة الساخنة بالأطراف اللينة، ويجب أن تكون المادة المألثة من نفس نوع الألواح الترموبلاستيك أو ألواح الأكرليك.

## ٢ - اللحام بالاحتكاك الدائري

هذه الطريقة مناسبة جدا للحام الأجسام الإسطوانية المجوفة وفيها يتم ضغط إحدى القطعتين المطلوب لحامها بواسطة مكبس دوار تحت ضغط مناسب على القطعة الأخرى، لكنها مثبتة على قاعدة. وتسبب حرارة الاحتكاك نتيجة الدوران تحت ضغط آلة تسخين وصهر السطحين ببعضهما، ولما كانت درجة الاحتكاك تقارب الصفر عند المركز، فإن اللحام عند هذه النقطة يكون أضعف ما يمكن، ويمكن استخدام مخاريط صغيرة أو شنيور مع تجهيزات معينة لإجراء هذه العملية.

## ٣ - اللحام بأدوات ساخنة

في هذه الحالة يتم لحام سطحي البلاستيك بضغطهما مقابل معدني ساخن حتى يتم تليينهما فعندما تصل درجة الحرارة إلى الدرجة المناسبة يتم لصقها فجأة وتحت ضغط.



- ويمكن استخدام أدوات مختلفة تشمل سكاكين، سخانات الشرائح ألواح التسخين ويتم طلاء الأسطح الساخنة بمادة التفلون Teflon. وعند استخدام هذه الطريقة للصق الألواح السمكية من البلاستيك ١/٤ بوصة أو أكثر فيفضل تطابق المقطعين حتى لا تحدث فراغات هوائية بينهما. (١٩)



## الفصل الخامس

### أساليب الإنهاء والتشطيب





ينتج عن عمليات القطع والنشر واستخدام المبرد ملمس غير منتظم على سطح الأكريليك، وأحيانا يتسبب استخدام المبرد إلى حدوث ضغط على مادة الأكريليك وإذا لم يتم التخلص من هذا الضغط عند درجة حرارة ٨٧ - ٩٣°م فإنه سوف يؤدي إلى تشقق السطح عند استخدام لاصق الأكريليك<sup>(١)</sup>.

وقد تكون هذه النتائج مرغوبة وجذابة لدى النحات، لحصوله على تأثيرات جمالية معينة، وإذا لم تكن مرغوبا فيها فيمكن إتباع الخطوات الآتية للحصول على سطح نظيف ولامع:

#### ١- الصنفرة وتضم ثلاث مراحل متتالية:

أ- استخدام عجلة الجlx

ب- استخدام الكاشط

ج- استخدام ورقة الصنفرة

#### ٢- الصقل ويشمل الأنواع الآتية:

أ- الصقل الآلي

ب- الصقل اليدوي

ج- التشطيب بالبرميل

#### ٣- التلميع وهو يتم بثلاثة طرق مختلفة:

أ- التلميع باللهب

ب- التلميع الآلي

ج- التلميع اليدوي

#### ٤- التنظيف وهي العملية النهائية للحصول على سطح ناعم ولامع.



## ١ - الصنفرة

الصنفرة طريقة صالحة لتنشيط أنواع البلاستيك الثابتة بالحرارة thermosets وخاصة تلك المحتوية على مواد مقوية أو داعمة، ولكن عملية الصنفرة تصعب مع أنواع البلاستيك الحراري غير المستقرة حرارياً حيث أن درجة انصهارها منخفضة وتميل إلى التعجن على سطح التسخين وتسبب مشاكل للسطح. وإذا لزم في عملية التشكيل استخدام الصنفرة فيستخدم وسط مبرد لمنع هذه المشاكل.<sup>(١٤)</sup>

وتتم عملية الصنفرة في ثلاث مراحل:

أ - استخدام عجلة الجلخ

ب- استخدام الكاشط

ج- استخدام ورقة الصنفرة

### أ- استخدام عجلة الجلخ

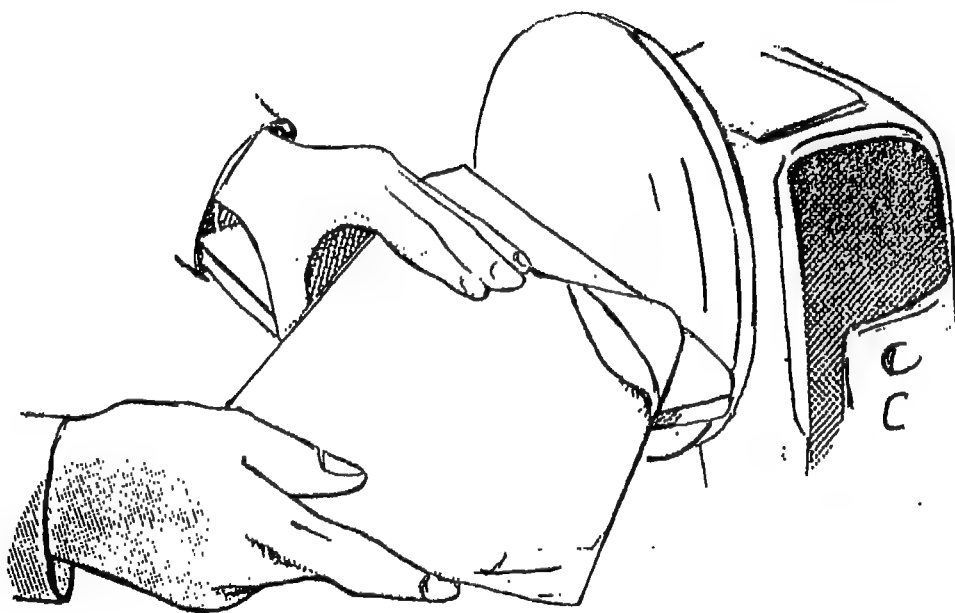
إذا كان بالقطعة خدوش عميقة فيجب في هذه الحالة استخدام عملية الجلخ أولاً. ويجب أن تكون تارات التجليخ مصنوعة من القطن أو الشاش المشغول على هيئة غرز، ويجب أن تدور بسرعة نحو ١٨٠٠ قدم سطحي في الدقيقة.

ويجب أن تزود العجلة بمزيج من مادة التريبلي Tripoli الأبيض وذلك لإزالة الخدوش. يجب استعمال أحجار جلخ خشنة مفتوحة حتى تتلافى عرقلة عملية التجليخ وما يتبع ذلك من إحتراق المادة نفسها ويفضل استعمال جلخ رأسي فوق المنضدة لتجليخ الشرائح المسطحة وتشمل أحجار الجلك المناسبة كربيد السيلكون (شكل ٢٩)<sup>(١٥)</sup>.

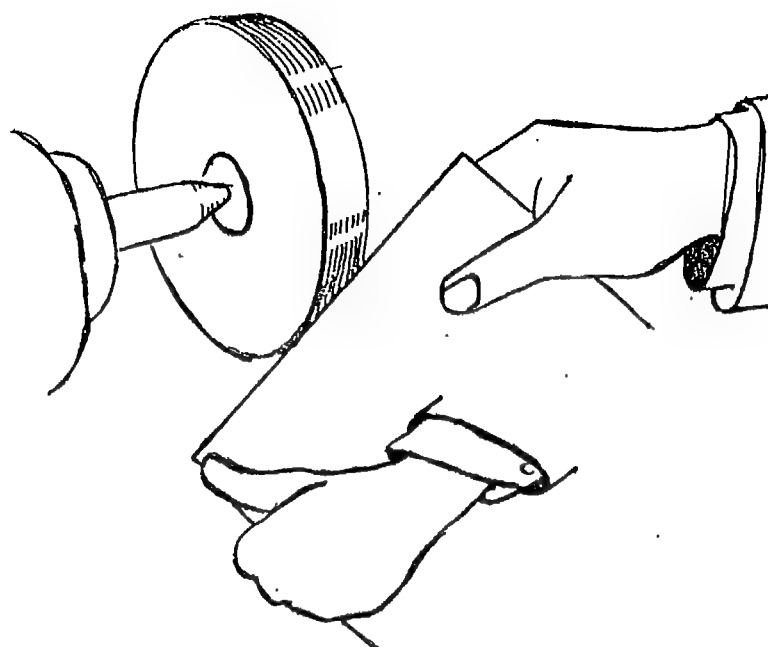
### ب- استخدام الكاشط

ويجب الحرص على أن تتم كل أعمال الصنفرة على الناشف، وبمجرد أن يتم تقلييل حجم الخدوش إلى أقل درجة، تبدأ الخطوة التالية وهي عملية الكشط، وهي تتم بواسطة أداة مصنوعة من نصل منشار قديم، كما يمكن استخدام المكشط العادي.





جلخ راسى فوق منضدة



شكل (٢٩) جلخ حر



## ج- استخدام ورقة الصنفرة

للحصول على أفضل سطح لامع نستخدم الكثير من ورق الصنفرة بعدة درجات على أن يكون منها المبتل والجاف والخشن والناعم. وأفضل طريقة للعمل هي اختيار أكثر الورق خشونة لمسح السطح بأكمله على أن تعطى لكل مساحة صغيرة الوقت الكافي، كذلك يجب مراعاة أن تكون حركة اليدين دائرية أثناء صنفرة الشكل. وعندما يصل الشكل إلى درجة نعومة كافية يتم الانتقال إلى الدرجة الأقل خشونة باستخدام ورقة الصنفرة مع الماء. حيث أن الماء سيعطى مادة كريمة أثناء الصنفرة، كما يؤدي استخدام ورقة العقيق الأحمر أو أكسيد الألومنيوم أو ورقة فحم السيليكون الحبيبي ٢٢٠، ٤٠٠ إلى نتائج جيدة.

## ٢- الصقل

تتم هذه المرحلة بعد مرحلة الصنفرة، وذلك لإزالة الشوائب الموجودة على سطح الأكريليك للحصول على سطح مصقول، ويمكن أن تتم عملية الصقل يدويا في حالة إزالة الخدوش البسيطة أو آليا للخدوش العميقة.

## أ- الصقل الآلي

تتم عملية الصقل الآلي بواسطة عمل صقل يدار ميكانيكيا مصنوع من قماش قطن. وتستخدم هذه العجلات لصقل الأجزاء التي لا تحتوى على أسطح معقدة ويمكن تحميل هذه الإسطوانات بمسحوق من مواد الصقل مثل Tripoli.

ويتراوح قطر دائرة عجلة الصقل ما بين ١٥٠ - ٢٥٠ مم، ويكون ذلك مناسباً لماكينة صقل ذات سرعة محور حوالى ٥٠٠ الفة/دقيقة ، ويمكن السماح بسرعة عالية لسطح عجلات الصقل الكبيرة. وأثناء العمل في الأكريليك يجب تقليل السرعة والضغط. وبعد ذلك يشطف العمل ويجفف ثم يحمل على عجلة التلميع.<sup>(٢١)</sup>

## ب- الصقل اليدوي

يتم بواسطة استخدام قطعة صغيرة من القطن الطبي. ندعك بها باستخدام الأيدي فوق المنطقة التي بها خدوش في حركة دائرية. وفي هذه الحالة نحتاج إلى كمية من مواد الصقل (مادة تريپلى Tripoli) مع التغيير المستمر لقطعة القطن الطبي وذلك للحصول على النتيجة





المرجوة. ويجب الاحتراس حيث أن الكثير من الضغط يمكن أن يؤدي إلى حدوث قشوة ذات لون برتقالي.<sup>(٢)</sup>

### ج-التشطيب بالبرميل

تتوقف هذه العملية على كثير من المتغيرات مثل حجم الأجزاء الأكريليك ووزنها وشكلها، كما تتغير الطريقة حسب سرعة الدوران والوسط المستخدم لعملية الصقل، ويتوقف نجاحها على إجراء عدة تجارب لتحديد السرعة المناسبة والوسط المناسب.<sup>(١٤)</sup>

وتجرى هذه العملية كالآتي: توضع الأجزاء المراد صقلها في برميل يدور في وضع أفقى محمل بالأجزاء المطلوب صقلها، ومعها المواد الوسيطة اللازمة لعملية الصقل وتشمل نشارة الخشب أو الشمع أو مساحيق الصقل المختلفة.

### ٣- التلميع

بعد ذلك يتم عمل تلميع مادة الأكريليك، ويتم ذلك بأكثر من طريقة تشمل استخدام اللهب - أو مواد ملمعة - أو بالتلميع - أو عجلات التلميع.

#### أ- التلميع باللهب

في هذه الطريقة يمر العمل الفني عبر لهب من الأكسجين - الهيدروجين إلا أن هذه الطريقة من الممكن أن تتسبب في عمل شقوق وبهتان للون في خامة الأكريليك والنتيجة النهائية عادة لا تكون في نفس جودة طريقة التلميع الآلي.<sup>(٢)</sup>

#### ب- التلميع الآلي

يتم تلميع سطح الأكريليك باستخدام عجلة الجليخ، وتزود بمواد تلميع - ومنها ما يوجد تحت الاسم التجاري Meguiars MGH-7.

#### ج-تلميع الثقوب والحفر الغائرة

توجد طريقة بسيطة لتلميع الثقوب والحفر الغائرة في لوح الأكريليك، وذلك بعمل قطع دقيق بواسطة المنشار في خابور أو وتد صغير قطره ١/٢ بوصة (٢مم) ويثبت شريط من



قماش كاشط به وتوضع هذه الأداة فوق مثقاب مثبت على ركيزة، ويجعله يدور حول محوره بسرعة ٧٥٠ لفة / دقيقة (السرعات الأعلى من ذلك قد تسبب رفع درجة الحرارة)<sup>(٢)</sup>.

وبدلاً من التلميع على عجلة التشطيب يمكن إضافة طبقة من الشمع يدوياً، ويتم تشميع الأكريليك بنوعيه جيدة من الشمع التجاري، وهذا الشمع سيحسن من شكل السطح وذلك عن طريقة ملئه للخدوش الدقيقة بحيث يتم وضع الشمع في طبقة رقيقة مستوية. ثم يتم التلميع بواسطة الدعك الخفيف بقطعة قماش ناعمة وجافة مثل قطعة من الفانلة القطنية.

#### ٤ - التنظيف

تمثل هذه المرحلة الخطوة الأخيرة في إنهاء سطح العمل النحتي المشكل بالأكريليك، وهي تتم بعدة طرق. وقد تتم آلياً باستخدام عجلات جليخ ناعمة نظيفة وغير محملة بأي مواد، ويجب أن تكون تارات التنظيف سهلة الحركة ومصنوعة من قماش الفانلة القطني أو الشمواه، ويتراوح قطرها بين ١٠ إلى ١٢ بوصة.

ويمكن غسل الأكريليك بوسائل نظيف باستخدام قطعة قماش ناعمة خالية من الحبيبات أو اسفنجية، فقط كوسيلة لنقل المياه على الأكريليك ثم بعد ذلك يجفف سطح العمل النحتي باستخدام قطعة من الشمواه النظيفة المبللة، ويراعى تجنب استخدام أقمشة جافة عند تنظيف الأسطح حيث إنها يمكن أن تولد شحنات استاتيكية تجذب إليها ذرات الغبار<sup>(٣)</sup>.

ويمكن وقف عملية تراكم الأتربة التي تحدث بسبب التجمع الزائد في الكهرباء الإستاتيكية وذلك عن طريق وضع طبقة مضادة الإستاتيكية على أسطح الأكريليك، ويتم ذلك بأن نبلل قطعة قماش بمحلول مخفف من ملمع مضاد للإستاتيكية مثل المحلول الذي يحمل الاسم التجاري Perspex Polish no.3 ICI، حيث نمسح به بخفة فوق سطح الأكريليك، وبعد ذلك يدعك السطح بقطعة قماش جافة. والأكريليك الذي تم معالجته بهذه الطريقة لا يكون مشحوناً بكهرواستاتيكية، وسينتج عن ذلك وجود سطح خالي من الأتربة.



وعند تخفيف محلول التلميع المضاد للاستاتيكية بنسبة ١٠% إلى ٩٠% ماء نقى، يظل الأكريليك في هذه الحالة غير مشحون لمدة تصل إلى شهرين، ويمكن عندئذ أن يتم التنظيف وإزالة الغبار بالطرق العادية، وفي حالة إذا ما تم غسل الأكريليك فإنه يجب معالجته مرة أخرى بمحلول التلميع وذلك لاستعادة خاصية عدم الإستاتيكية<sup>(١٢)</sup>.

ويجب عدم استخدام المذيبات العضوية مثل الأسيتون أو البنزين أو رابع كلوريد الكربون tetrachloride Carbon أو السائل الموجود بطفايات الحريق أو سائل التنظيف أو مخفف الإستر حيث إنها تشوه السطح.<sup>(١٣)</sup>



## الباب الثالث

### المعطيات التشكيلية لخامة الأكريليك

الفصل الأول : الرؤية التشكيلية للضوء فى المدرسة  
البنائية

الفصل الثانى : التشكيل بالضوء

الفصل الثالث : التشكيل بالتلوين

الفصل الرابع : الشفافية





## مقدمة

للضوء والشفافية كعنصرى تصميم دوراً فى تصميم وبناء الأعمال الفنية النحتية. لا يقل أهمية عن الدور الذى تؤديه بقية العناصر كاللون والشكل والملمس ... الخ وهذا الدور يتوقف على خواص الضوء ودرجة الشفافية وأثرهما على القيم الجمالية للشكل وعلى سماتها الجمالية، وعلى ما يحمله كلا منهما من قيم تعبيرية وإيحائية. كما يتأثر بمهارة الفنان فى استخدام هذين العنصرين وبقدرته فى توظيفهما فى بناء أعماله الفنية من خلال تناوله وتشكيله للخامة.

فخامة الأكريليك من أكثر اللدائن التى تحقق عنصر الشفافية ولها خواص تميزها عن اللدائن الأخرى خاصة بنفاذيتها للضوء كما ذكرنا آنفاً، وإمكانية تشكيلها، وأيضاً إمكانية الحصول عليها من خلال تنويعات لونية واسعة كل ذلك جعل بعض فناني العصر الحديث أن يجدوا فى خامة الأكريليك وسيطاً نحتياً جديداً فجعلوا لشفافية الخامة دور فعال ومؤثر فى مضمون العمل، واستغلوا خصائص الأكريليك الخاصة بمسارات الضوء لإظهار فعل البعض الزمنى، فالأشكال بدت وكأنها تسبح فى الضوء واستخدم اللون مع الضوء فى أشكال توفر فيها عنصر الحركة، فاللون يتدرج من الإعتماد حتى الشفافية التى تعطى الشعور حسياً بأن العمل خفيف الوزن يعيش فى حركة دائبة حسب حركة المتلقى بناءً عليه فهناك دور فعال يقوم بها الضوء كوسيط تصميمى فى إظهار عنصر الشفافية فى العمل الفنى. أثناء استخدامنا لشرائح الأكريليك سواء أكان هذا الضوء طبيعياً أم صناعياً. كما أن دراسة التأثيرات الضوئية التى تسقط على كل من الهيئة واللون فى العمل النحتى الشفاف أساس فى خبرة النحات.



# الفصل الأول الرؤية التشكيلية للضوء في المدرسة البنائية



ارتبطت المدرسة البنائية بالضوء في إنتاج أعمالها التشكيلية، فلقد أصبح الضوء هو الوسيلة المباشرة لإنهاء الصفة الأساسية للكتلة وتحويلها إلى مدرك معنوي مثير، وجمعت بين الزمان والمكان في العمل. إن الفكر البنائي يعني في محتواه المركب الكلي للعلاقة بين الزمان والمكان، وهو لا يحتوي علي حقائق ساكنة بل حقائق ديناميكية متجددة، فعن طريق استخدام الخامات النافذة أو العاكسة للضوء يمكن الحصول علي قيمة المكان بطريقة جديدة، كما يسعى لتحطيم الفارق التقليدي بين النحت والتصوير، من خلال السعي وراء قيمة الفراغ لإنتاج أشكال بنائية تتشكل من مجرد خامه<sup>(٢٢)</sup>.

فالفنان البنائي يهدف إلي صبغ النحت بكيفية هندسية معمارية. وقد اهتم فنانون هذه المدرسة بقيمة الفراغ الحقيقي في التصميم كما اهتموا بقيمة الضوء، وكانت لهم آراء مختلفة في النحت حيث اهتموا بالنحت الفراغي الذي يعطى الإحساس بخفة الوزن، مختلفين في هذا عن النحت التقليدي المتميز بالثقل والرسوخ.

وقد اعتمد فنانون البنائية على استخدام خامة البلاستيك في التعبير عن أفكارهم واستعانوا بالشرائح الشفافة في كثير من أعمالهم الفنية. حيث أتاحت خواص هذه الخامة وإمكاناتها في التشكيل مجالا للتجريب وتحقيق قيمة للفراغ واستخدام الضوء الحقيقي<sup>(٢٣)</sup>.

ونتيجة للبحث العلمي الدائم ظلت أنواع البلاستيك تتكاثر وتتعدد صورها وأشكالها حتى أتاحت للفنانين بثرائها حل كثير من المشكلات التقنية وشاركت في بناء كثير من الأعمال الفنية الحديثة التي تنتمي لمدارس وحركات فنية عديدة تحمل قيما وأفكارا واتجاهات مختلفة<sup>(٢٤)</sup>.

ومن الرواد الأوائل للمدرسة البنائية الذين استخدموا خامة البلاستيك في التشكيل النحتي موهولى ناجى وناعوم جابو، وقد عبروا عن أنفسهم من خلال أعمالهم، فهم استحضروا الإبداع في الفراغ باستخدام المسطحات والخطوط فأعمالهم تشير إلى ارتقاء الفكر، وتتميز بأنها شديدة الصلابة وأصلية، وفوق ذلك كله ذات بناء واضح<sup>(٢٥)</sup>.

فيعد موهولى ناجى أول الذين كان لهم السبق في الاهتمام بتضاد الخامات واستخدام الأشكال الهندسية في علاقات مبسطة نجدها تتجسد في أفكار بنائية ذات دقة رياضية،



مستخدماً فيها جميع الخامات الجديدة، وتعتمد أيضاً على الفراغ كعضو أساسي في البناء. كما أن ناجي هو الفنان الذي أثبت بالإضافة إلى تقنية إبداع الحركة كيفية إدارة والتحكم في الضوء واللون، (الشكل ٣٠) المنفذ عام ١٩٤٠ من خامات الأكريليك والخيوط النايلون من أعماله المشكل يدوياً، فالخيوط الموجودة في العمل تنتشر مثل العروق، والتقوب الموجودة تعمل على خلق نوع من الإيقاع الحر للظلال والضوء، مما يخلق أيضاً نوع من الشاعرية في العمل<sup>(٢٤)</sup>.

وناعوم جابو Naom Gaba مثال روسي فكر في تحرير النحت من التقاليد القديمة وساعده علي ذلك دراسته العلمية، لذلك نجد أن تصميماته تتميز بأسلوب تجريدي هندي. فعندما تقبل جابو الثورة التكعيبية علي أنها تمثل تحدياً يمكن من خلاله إصلاح الطريقة التي من خلالها كان فن النحت يؤدي، فإنه بذلك ساعد علي إطلاق شريان دائم ومستمر من الأفكار العصرية والآراء الحديثة في ذلك المجال. فمن خلال تكويناته المضيئة الرقيقة استطاع جابو أن يعطي معان جديدة للضوء والزمن والفراغ من ناحية كونها عناصر هامة وأساسية يجب أن تدخل في مجالات فن النحت".

ومما شجعه علي التطور انتشار خامات البلاستيك في ذلك الوقت، فاستفاد منها بعد دراسته لطبيعة هذه الخامة ومدي علاقتها بالفراغ. واعتمد في تشكيلاته علي إنشاء تكوينات في الفضاء مكونه من خطوط متناغمة.

واستملت جابو التجارب علي الخامات التخيلية وخاصة الأكريليك فاستطاع بهذه الخامة أن يشكل تماثيل وبنائات كلاسيكية باستخدام البلاستيك وخيوط النايلون المسماة (نايلون كورد) وفي عام ١٩٤٤، استطاع جابو أن يبدع البناء الخطي Linear Abstraction باستخدام الأكريليك والنايلون (شكل ٣١) وهو بهذا يعد ممن أضافوا الي عالم تطويع الخامات لتحقيق قيم تشكيلية وتعبيرية بعينها.

ومن أعماله البنائية (الشكل ٣٢) تمثال رأس بنائية وهو عبارة عن تمثال نصفي لرأس فتاة استخدم فيه الخطوط المنحنية والمسطحات المستقيمة المتداخلة مع بعضها البعض لتحصير فراغات متعددة ومتنوعة في الحجم والشكل، حيث وازن الفنان بين وظائف الكتل ووظائف الفراغات وأوجد فراغات ناشئة من تلاقي الخطوط وتقاطع وتداخل المسطحات، واستغل



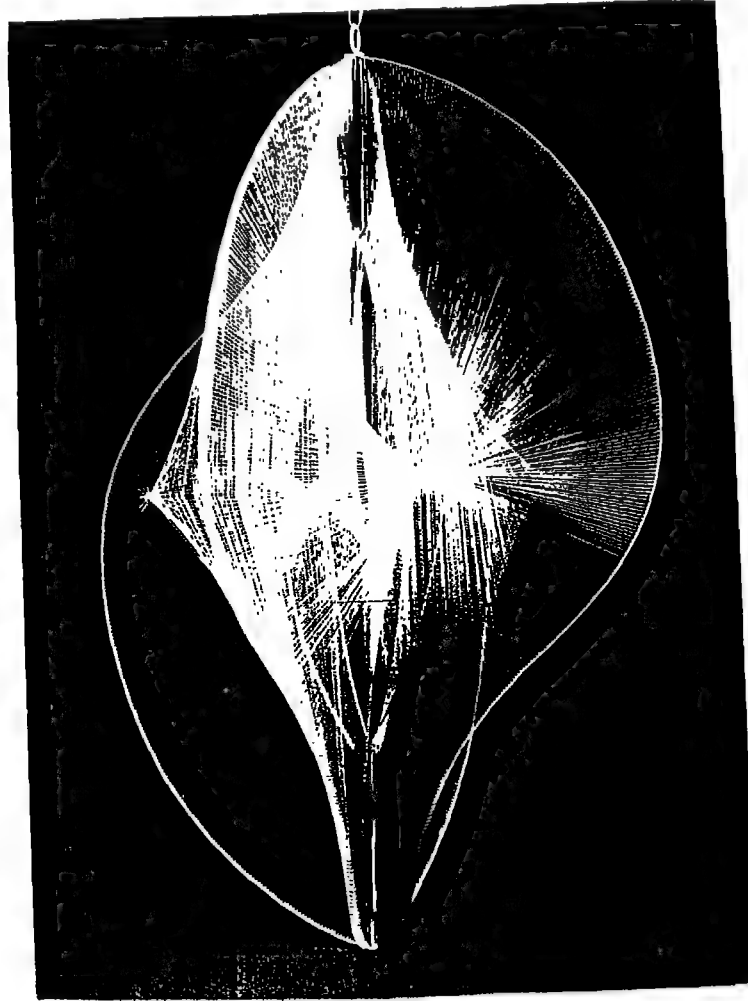


-۱۱۰-



شکل (۳۰) ترکیبات - للفنان موهولی ناجی





شکل (۳۱) بناء خطی - لافغان ناعوم جابو



-١١٢-



شكل (٣٢) رأس بنائية - للفنان ناعوم جابو



المثال الظلال في تأكيد الأماكن العميقة الناشئة من تلاقي المسطحات، واستغل الإضاءة في تأكيد هذا العمق الفراغي، وقد نجح الفنان في توفير الإنسجام وإبراز التباين بين الكتل المكونة للشكل والفراغ المحيط به، ولقد ساعد علي هذا الإيحاء الضوء الساقط والظلال داخل الشكل. وقد نفذ الفنان العمل من ألواح الأكريليك في مضمون تشكيلي مبني علي علاقة المسطحات والخطوط بالفراغ الداخلي والخارجي للشكل.

والمنتبع لمسيره جابو كفنان سوف يجد أنه كان يسعى دائماً إلي توسيع آفاق وحدود فن النحت ودوره البيئي. وكانت حياة جابو الفنية والمتمثلة في الآراء والتغيرات التي حارب من أجلها عبارة عن تأكيد دائم للقيم التركيبية الكثيرة المتمثلة في فنه.

ويقول جابو "لنكن مهتمنا هي أن نفتح أشكالنا ونماذجنا الفنية لنضع البيئة داخل تلك النماذج، وإذا ما فعلنا ذلك فإننا نعلن أن البيئة والمجال المحيط بها يجب أن يشكل جزءاً من تركيباتنا الكلية، وبناء عليه فإن فن النحت يجب أن يعطينا إحساساً كافياً بالحركة لكل الأسطح والخطوط، والمتفحص لرسومات "جابو" المبكرة سوف يكتشف اهتمام ذلك الفنان بالتكعيبية حيث أنه قد أدرك كيف أدخل فنانوا النحت التكعيبيين عنصر الفراغ والزمن في أشكالهم الفنية عن طريق خلقهم لدور إيجابي للفراغات ذات الحيز، وأيضاً بحفرهم أشكالاً ذات اسطح لها زوايا من شأنها أن تستقطب الضوء<sup>(٢٥)</sup>.





## الفصل الثاني

### التشكيل بالضوء



## الضوء

يقول بلانسهام إن الضوء " صورة من صور الطاقة وهو ينتقل عن طريق الإشعاع وطبقا للاعتقاد السائد الآن فإن الضوء هو الطاقة الكهرومغناطيسية ". وهو يخترق الأثير على هيئة موجات إشعاعية وبسرعة تصل إلى ١٨٦٣٠٠ ميل / ثانية. هذه وتتبع الموجات قانون الحركة بمعنى أنها تتبع بمعدل واتجاه فالمعدل يتمثل في كمية الإشعاعات والطاقة المصاحبة لها والتي تتمثل في طول أو قصر الموجات، والاتجاه يتمثل في مسار تلك الموجات في خط مستقيم ما لم تنكسر على الأشياء التي تمتص بعض الإشعاعات من الضوء، وتعكس الأخرى التي يعرف بها لون الشيء<sup>(٢٦)</sup>.

وقد استخدم الضوء للتمييز بين النوعيات المختلفة للمواد حيث ان انعكاس الضوء على المعادن يختلف عن انعكاسه على المواد الأخرى كالبلستيك والبلور.

والدراسات الحديثة للرؤية والضوء قد أثرت كثيرا في مجالات الفن التشكيلي، ولم تعد وظيفة الضوء بمفهومها الكلاسيكي هو منحه للرؤية والإبصار فقط، بل أصبح يدرس كعنصر من عناصر التصميم الحركي، ويؤثر ويتأثر بما حوله، فللضوء دور إيجابي في إبراز الفراغ في التكوين النحتي. ويرجع تأثير الضوء لعدة عوامل وهي إسقاط الظلال والانكسار وإظهار الشفافية التي بدورها تؤثر على العمل الفني وذلك لخاصية التباين الناشئة من درجة إسقاط الضوء على المسطحات والمجسمات.

## تأثير الضوء على الأشكال

### تألقات الضوء

اللمعان : ومعناه كمية الضوء Brightness

اللون : وهو احمراره أو زرقته أو خضرته Hue ويمكننا إدراك اللون كخاصية مباشرة للضوء.

التشبع : هو النقاء النسبي في اللون الضوئي.



## كيفية التحكم في درجة تألق الضوء

يمكن التحكم في لمعان الضوء نفسه بطريقتين:

١- اختيار مصدر ضوئي يوفر درجة اللامع المطلوبة.

٢- استخدام نوع من التحكم في خفض شدة الإضاءة.

وللتحكم اللوني أربعة طرق :

١- طريقة استخدام المرشحات اللونية التي يمكنها أن ترشح أطوال الموجات غير المرغوب

فيها، و تعمل هذه المرشحات بتوجيه اختياري حيث إنها تقلل من درجة لمعان الضوء.

٢- طريقة تستخدم فيها أضواء النيون (الفلورسنت) لإعطاء كمية اللون المطلوبة مباشرة،

ولذلك تعتبر أكثر تأثيراً حيث يستخدم فيها الضوء بكاملة دون حذف أى جزء منه.

٣- طريقة استخدام خليط ضوئي إضافي للتحكم في اللون، ويتم هذا بتركيب ضوئين ملونين

مختلفين أو أكثر على أى سطح ويستخدم لذلك جهاز ضوئي به عدد من مصادر ضوئية

صغيرة مختلفة اللون مثبتة جميعها في صندوق ضوئي واحد ويمكن التحكم عن طريقه

في لون الضوء<sup>(٢٦)</sup>.

## الألياف البصرية :- Fiber Optics

إن الألياف البصرية مصطلح يطلق على الزجاج الرفيع الأسطواني الشكل، أو الألياف

البلاستيكية من النوع البصري ( الأكريليك ) ذات القدرة على إمرار الضوء.

ويعتمد عمل الألياف البصرية على أساس بسيط للغاية حيث تسير حزمة من الضوء

داخل خيط رفيع من الزجاج النقي، أو أنواع معينة من البلاستيك، وتنعكس عن جدران الخيط

بسبب ظاهرة الانعكاس الكلي وينبثق الشعاع الضوئي في نهاية الخيط بأقل قدر من الفاقد

(شكل ٣٣).

وتستخدم الألياف المصنعة من بلاستيك الأكريليك في نقل الإضاءة وخاصة لمتطلبات

الأعمال تحت المياه وإشارات المرور، فهي تكون أكثر إضاءة وإشعاعاً من لمبات النيون

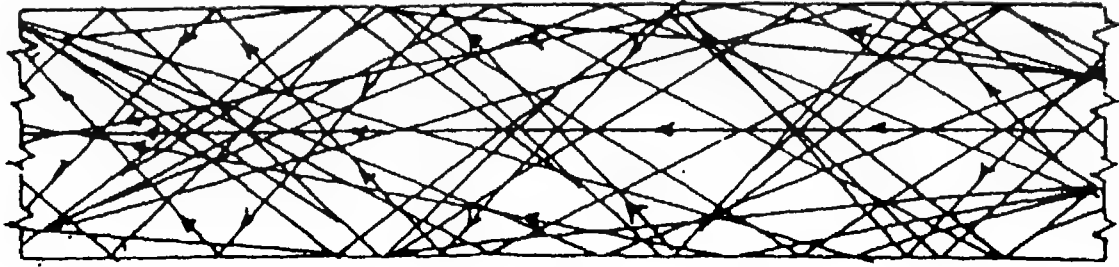
ولمبات التوهج، هذا بالإضافة إلى احتياجها لكمية طاقة أقل. " وتستخدم الألياف أيضاً في

الاتصالات حيث يستطيع زوج من الألياف الضوئية بسمك أربعين من المليون من البوصة أن

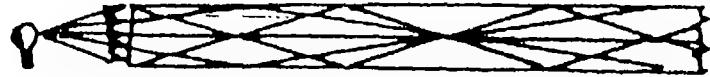
يحمل عشرة آلاف مكالمات لحظية. وتستخدم الألياف البصرية حالياً في أغراض المؤثرات

المسرحية مثل تقليد النجوم المتلألئة وتأثيرات الحريق واللهب وانطلاق السوائل البركانية.<sup>(٢٧)</sup>





شكل (٣٣) تمثيل لنفاذ الضوء خلال ليفه بصرية مع ظهور الإنعكاسات الداخلية



تأثير تغير موضع مصدر الضوء على تجميعات الأشعة خلال الليفة





## التشكيل بالضوء

في كتاب "الضوء في المعمار والديكور" كتب شوبزر عام ١٩٣٠ ما يلي: "تطور الضوء وأخذ خطوة أخرى هامة، فتحول من مجرد حالة وسيط زخرفي إلى أن احتل مكاناً جديداً في عالم الفن إلى جانب الرسم والنحت والفنون الأخرى، وأصبح فناً تجريبياً تحكمه نفس المبادئ التي تحكم الفنون التجريدية الأخرى، فنتجت عنه أعمالاً درامية وجمالية على نفس الدرجة من الجودة".

وهذا ما أكدته "ماجورى" بتسمية الفن الضوئي القائم بذاته، حيث أن الأشكال النحتية الضوئية التي تضيء وتدخل في عالمنا الإحساس بالحركة والتصميم واللون جعلت هذا الفن قائماً بذاته.

إن الضوء هو العنصر الوحيد في الطبيعة الذي يحمل للإنسان خبرة البعد الرابع، فإذا كانت الأبعاد الثلاثة هي "الطول - العرض - العمق" هي أبعاد مادية تحصر بداخلها كل ما هو ملموس، فإن الضوء يحدد ماهية البعد الرابع، وهو الزمن. مما يرفع من قيمة العمل الفني وينقل المشاهد بخياله ليصبح وكأنه يعيش بالفعل في زمن العمل (٢٨).

وتتميز التشكيلات الضوئية الساقطة على الهيئات في الفراغ بإيرازها لقيم تشكيلية وتعبيرية مباشرة وذلك تبعاً لقوة الضوء وتعدد مصادره وزاوية سقوطه، مما يعطي تكويناً لا يقل عن التكوين النحتي أو الصورة (٣٠).

وقد أثر تطور الإضاءة الصناعية والتكنولوجيا المتزايدة على الفنانين والرسامين والنحاتين، إلا أنه في بادئ الأمر لم يقدم هؤلاء الفنانون أى أشياء مادية ملموسة فقد كان الضوء والظلام وضوء الشمس والظل والزمن والفراغ والصوت والصمت هي كل ما قدموه، وكانت المواد التي اعتمدوا عليها هي النار والدخان. وبالتدريج بدأ هؤلاء الفنانون في استخدام أوساطاً أكثر تعقيداً كما أنهم لجأوا إلى مناهج أكثر تطوراً بمضى سنوات تضمنت المواد التي استخدموها مثل المواد المتلازمة والفسفورية والبوليستر والأكريليك والنيون والإضاءة الفلورسنتية (٢٩).



وقد قام الكيميائي الإنجليزي وليام رامسي William Ramsey باكتشاف غاز النيون عام ١٨٩٨، وتوازي صعود النيون واستخدامه في الفن مع استخدام الكهرباء، ونمى فرع كامل مختلف تماماً عن فن الإضاءة إلا وهو: فن النيون. وعبر حقبة الثلاثينيات وحتى الآن استخدم العديد من الفنانين النيون كوسيط لأعمالهم، ومثال لهؤلاء الفنانين: كريسا، بول موهر، ستيفن انتونك (والأخير هو الذي بدأ التشكيل باستخدام النيون في عام ١٩٥٠) وأعمال النحت المضيئة هذه تشعل الخيال عن طريق استغلال كل أنواع مصادر الضوء (مثل مصابيح الغاز، النيون، الفلورسنت) ذات الأسطح المصنوعة من الزجاج المطلى والأسطح ذات المرايا العاكسة (التي تخلق جواً خيالياً من الأبعاد الشاسعة للفراغ والمسافات اللانهائية وذلك عن طريق الانعكاسات وكسر الأشعة المتكرر اللانهائي) وذات الحركة (مثل الفلاشات والموتورات).

ولقد تميزت أعمال كل من دان فلاغن وشارلز روس على وجه الخصوص في هذا المجال (استخدم روس الضوء عبر المنشور في الستينات) وبدأ فلاغن بنحت أعمال فنية مضاءة، وكان يقوم بتصميم وترتيب أنابيب الفلورسنت في الفضاء على أنها "أشياء تم العثور عليها".

وكتب جون ميجور John Maguire ما يلي: "فكرة أن كل الفنون المرئية تعتمد على الضوء هي مسألة واضحة وجلية ولكن العمل بشكل مباشر في الضوء بدلاً من خلق أشياء ترى في الضوء توفر فرصاً جديدة متعددة الرؤى ولقد كان لفن الضوء تأثير واضح على مساحات أخرى من تصميمات الإضاءة كالإضاءة المعمارية مثال ذلك صورة للنحت الضوئي الموجود في مدخل مبنى لوبيز الإداري في مدينة "ريزال Rizal" بالفلبين، وهو مبنى مركز إدارة شركة كهرباء مانيلا، وهو من أعمال "مارتن جارون" Martin Garon وقد تمت معالجة كل الواجهة الخارجية بهذا المبنى على أنها نحت مضيء ضخم<sup>(٢٨)</sup>.



## الحركة في التشكيل الضوئي

كلمة (اللوميا) Alomia هي كلمة صاغها (توماس ويفريد) لتصميم الأشكال الضوئية المتحركة المعروضة على ستارة نصف شفافة، وتسمى في بعض الأحيان الموسيقى الملونة.

### وتنقسم حركة التشكيل الضوئي إلى نوعين:

أولاً: قد تكون حركة طبيعية فعلية إما في الهيئة النحتية أو في الضوء<sup>(٣١)</sup>.  
ثانياً: الانتقال المفاجئ ما بين الألوان الضوئية المتباينة يعطي الإيحاء بالحركة، بينما الدرجات الضوئية اللونية الواحدة تحقق نوعاً من الإيقاع الهادئ).

ففي مجال الحركة أخرج عدد كبير من الفنانين أعمالاً تجريدية حركية مثال النحات "موهولي ناجي" وخاصة عمله النحتي الضوئي الحركي باسم Lichtreguist ، ولقد عرض ذلك العمل في متحف بمدينة نيويورك في الفترة ما بين ١٩٢٢ و ١٩٣٠. وظهرت فكرة الفن النحتي المدار وبصحبته مئات من اللباب الضوئية الملونة في هذا العمل الفني<sup>(٣٢)</sup>.

### التشكيل بالضوء من خلال خامة الأكريليك

يهدف التشكيل بالضوء إلى إنتاج نحت يستقطب الضوء و يشعه، سواء كان مصدره طبيعياً أو صناعياً، ولقد ساعدت التكنولوجيا المصاحبة للضوء، إلى بزوغ ما أسماه ملجورى Magory " بالفن الضوئي القائم بذاته " ، فنا متطوراً في الأربعينات والخمسينات، حيث جعلت الأشكال النحتية الضوئية التي تضيء وتدخل في عالمنا الإحساس بالحركة واللون والتصميم هذا الفن قائماً وتعتبر مادة متبلورات الأكريليك أكثر المواد التي يظهر بها تأثير التشكيل بالضوء مباشرة ، حيث أنها مادة راتنجية ( بلاستيك ) لها خاصية الشفافية التي تسمح بنقل الضوء مما يضيف معه صفة غير عادية على العمل النحتي<sup>(٣٨)</sup>.

وبخلاف الزجاج فإن الأكريليك من الخامات القليلة التي تسمح بمرور الضوء عبر الشكل ، حيث يمكن تلميع الأكريليك بدرجة تمكنه من عكس الضوء<sup>(٣٢)</sup> ويمكن ( أن يقوم



النحات بإبداع تصميمات غائرة على سطح لوح الأكريليك ويتم بعد ذلك إضاءتها واستخدام المرشحات اللونية المثبتة أمام مصدر الضوء لتلوين الضوء الداخل إلى بلاستيك الأكريليك.

ويمكن تقسيم الإضاءة خلال خامة الأكريليك إلى نوعين:

١- الإضاءة الحافية

٢- إضاءة النقوش الغائرة<sup>(١٥)</sup>

## ١- الإضاءة الحافية

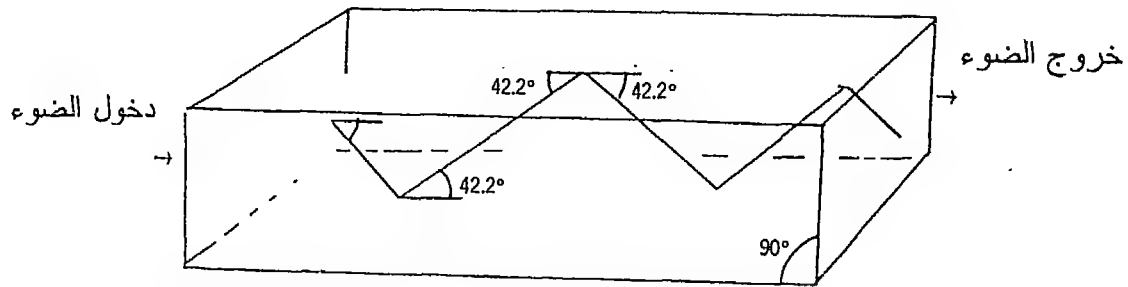
المقصود هو ضوء الحافة في الأشكال المصنوعة من خامة الأكريليك، وفي الواقع فإن هذه الظاهرة تنفرد بها خامة الأكريليك الشفاف وخاصة الألواح الشفافة، حيث يمكن أن تنتقل عن طريق الانعكاسات الداخلية نحو ٩٢% من الضوء الداخل إلى لوح مصقول من مادة الأكريليك إلى الحافة الأخرى لذلك اللوح.

وإذا ما سقط الضوء على أحد جوانب ذلك اللوح بزاوية تزيد عن ٤٢,٤ (شكل ٣٤) فإن ذلك الضوء سوف ينكسر أو ينحني بحيث لا ينفذ إلى خارج اللوح، وإنما يعود للانعكاس مرة أخرى إلى السطح المقابل للوح الأكريليك، ويظل الضوء مستمرا في انعكاسه وارتداداه من أحد أسطح اللوح إلى السطح الآخر إلى أن يصل آخر الأمر إلى النهاية البعيدة أي إلى سطح اللوح المواجه للسطح الآخر الذي دخل فيه الضوء<sup>(٢)</sup>.

ومن الفنانين الذين اعتمدوا على استغلال ظاهرة الإضاءة الحافية لخامة الأكريليك الفنان دي وين فالنتين Valantine (الذي استخدم ضوء النهار العادي في إنجاز أعماله الضوئية، فهو لم يستخدم أي ألوان في عمله الفني المسمى الضوء المنحني Catenary Light واكتفى بالألوان الناتجة عن ضوء النهار العادي، حيث اكتشف أنه يصدر ألوانا تغطي أي لون آخر مصطنع. ومن أهم أعماله في هذا الصدد<sup>(٢٩)</sup>):







شكل (٣٤)



### أ- الضوء المنحني Catenary Light

خط متوهج من الضوء (شكل ٣٥) يسري خلال الظلام منحنيا قطريا من أحد أركان السقف إلى الركن المقابل، ولقد بدأ خط الضوء من السقف ثم هبط ثلاثة أرباع المسافة متجها إلى الأرضية ثم بعد ذلك عاد مرة أخرى إلى السقف، وقسم خط الضوء الغرفة إلى مثلثين متباينين من الظلام الدامس، وكل مثلث مضىء بالقرب من الخط الضوئي المنحني ودامس في الأركان غير الواضحة، إلا أن الغرفة ككل يمكن تمييزها على أنها مكعبة الشكل. والشئ الهام بخصوص هذا العمل هو أنه على الرغم من كونه عملا قويا وفريدا إلا أن الوسائل التي استخدمت في تحقيقه كانت بسيطة وسهلة، إذا أن ثقبين قد حفرا في السقف في ركنين متقابلين، أحدهما في القطر من أحد النواحي، بينما يقع الثقب الآخر في الطرف الآخر من القطر من الناحية الأخرى. وهاتان الحفرتان سمحتا للضوء أن ينساب إلى أسفل عن طريق القضيب المصنوع من الأكريليك، ثم ينحني الضوء بانحناء القضيب، ثم يصعد ثانية خلاله إلى أن يصل إلى نهايته في الركن المقابل.

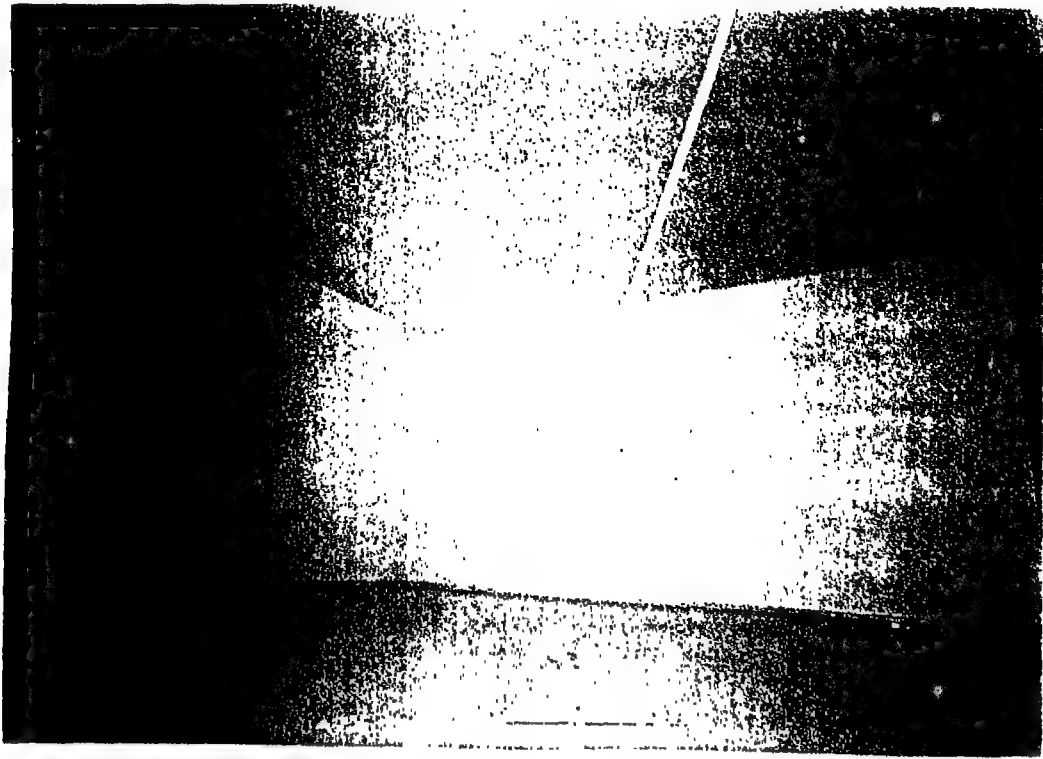
### ب- الطيف المتزن على دعامة Cantilevered Spectrum

بينما كان العمل المسمى الضوء المتحنى معتمدا على غرفة مظلمة فإننا نجد العمل الفني الآخر المسمى الطيف المتزن على دعامة Cantilevered Spectrum معتمدا على غرفة مضاءة، (شكل ٣٦) وفي الوقت الذي كانت فيه الغرفة الأولى مربعة نجد أن الغرفة الثانية كانت مستطيلة - وأبعادها ٤٠ × ٦٠ قدم.

وهذا العمل الأخير عبارة عن لوح سميك من الأكريليك يمتد أفقيا بطول الغرفة، وبمستوى عين المشاهد، ويبرز عده أقدام بعيدة عن الجدار من الداخل. وفي نفس الوقت كان ينفذ اللوح إلى خارج الجدار من خلال فتحة أفقية منحوتة في الجدار وتؤدي إلى خارجة والشريحة مثبتة من كلا طرفيها في الجدران الجانبية، ويفاجأ الداخل إلى الغرفة بأنه محاط بأضواء وردية حمراء أخذت طريقها خلال مقلتيه، وتواجهه شريحة معلقة في فضاء الغرفة ذات ألوان قوس قزح. وهذه الأمثلة التي قدمها لنا "فالنتين" كانت قوية وهندسية ومكثفة إلى جانب كونها تتسم بالروح الرومانسية والخيالية، ففي هذه الأمثلة كان المشاهد محاطا بالفراغات والمساحات الملونة المليئة بالضوء، وكان من الصعب على المشاهد أن يتحقق من



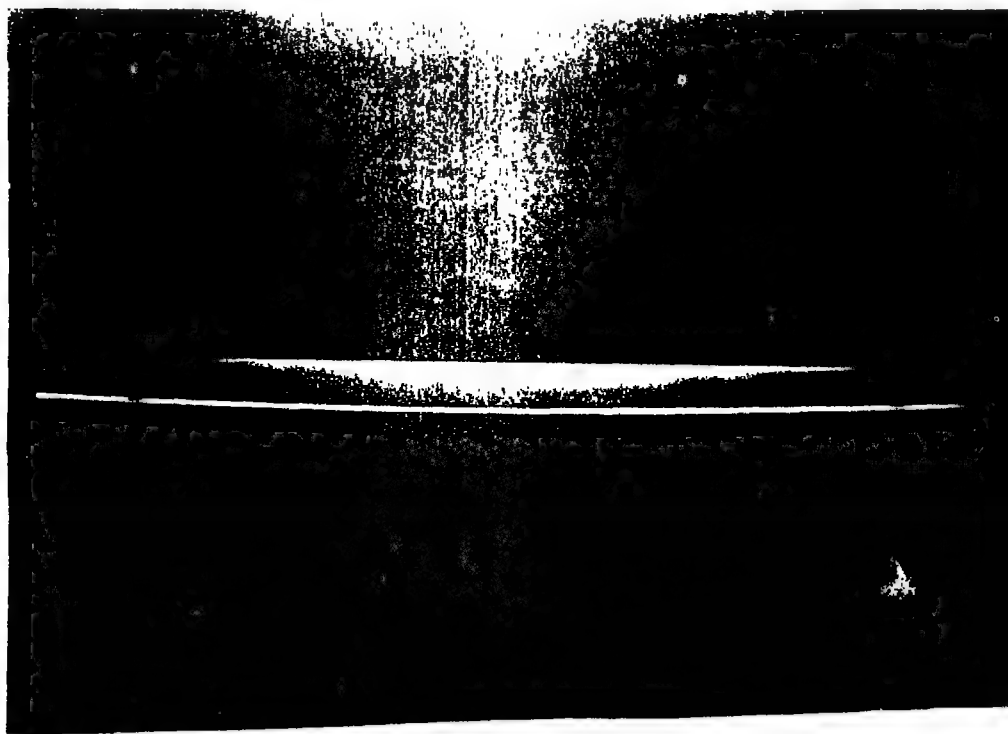
- ١٢٤ -



شكل (٣٥) الضوء المنحني Catenary - للفنان دي وين فالنتين



-۱۲۵-



شکل (۳۶) Cantilevered spectrum - للفنان دی وین فالنتین





كيفية خلق هذا الجو المحيط به، وفي نفس الوقت كان من الأهمية بمكان ألا يحاول المشاهد تحطيم هذا السحر المحيط به بمحاولة تحليله ومعرفة مكوناته . وعلى الرغم من أن تلك الأعمال الفنية التي قام بها فالنتين كانت تبدو معقدة – إلا أنها تطلبت قدرا كبيرا من الإعداد والتجهيز.

### ج- شرائح الضوء المتزنة على دعامة Cantilevered Planes

وكان العمل الفني المسمى شرائح الضوء المتزنة على دعامة Cantilevered Planes (شكل ٣٧) مختلفا كلية عن الأعمال الأخرى التي قام بها " فالنتين " في هذا المجال، ففي هذا العمل الفني كانت ألواح الأكريليك مركبة ومثبتة بطريقة رأسية وليست أفقية ، ومع ذلك فإن حواف تلك الشرائح فقط هي التي كانت تخدمنا حيث أنها تبدو وكأنها محددة بضوء النيون إذا ما تعرضت لضوء النهار. وعند دخول المشاهد إلى الغرفة المظلمة التي أعدها فالنتين لعرض هذا العمل كان يفاجأ بشريختين مستويتين من الضوء تبدوان وكأنهما سابحتين في الفراغ. ولأن حواف تلك الشرائح كانت متوهجة، فكانت الشرائح تبدو وكأنها رسومات في الفضاء المظلم، ولقد تمكن فالنتين من خلق شريحة ثالثة من الضوء نتجت من انعكاس الشريحة الأولى على الثانية. ومن الناحية التقنية فلقد أنجز العمل الفني شرائح الضوء المتزنة على دعامة بنفس الكيفية التي أنجز بها العمل الآخر المسمى الضوء المنحني، فلقد ثبتت شرائح من الأكريليك في فتحة موجودة في جدار خارجي، ووصلت أركان تلك الشرائح بواسطة أسلاك تم توصيلها بالسقف والأرضية، وكان ضوء النهار يلتقط بواسطة ألواح الأكريليك ثم ينقل إلى حواف تلك الشرائح فيضيئها.

### د- خط النهار Day Line

وبإنجاز العمل الفني المسمى خط النهار " Day Line " (شكل ٣٨) أضاف " فالنتين " حرف "X" ضوئي عملاق إلى أعماله الفنية المرئية . والفراغ الذي هياه فالنتين لهذا العمل كانت أبعاده ٧٠ قدم طولا و ٥٠ قدم عرضا، بينما ارتفاعه ٣٠ قدما. وشرح لنا فالنتين كيفية إنجاز هذا العمل فقال " من أجل ذلك العمل الفني قمنا بالحفر في جدار المتحف حتى وصلنا



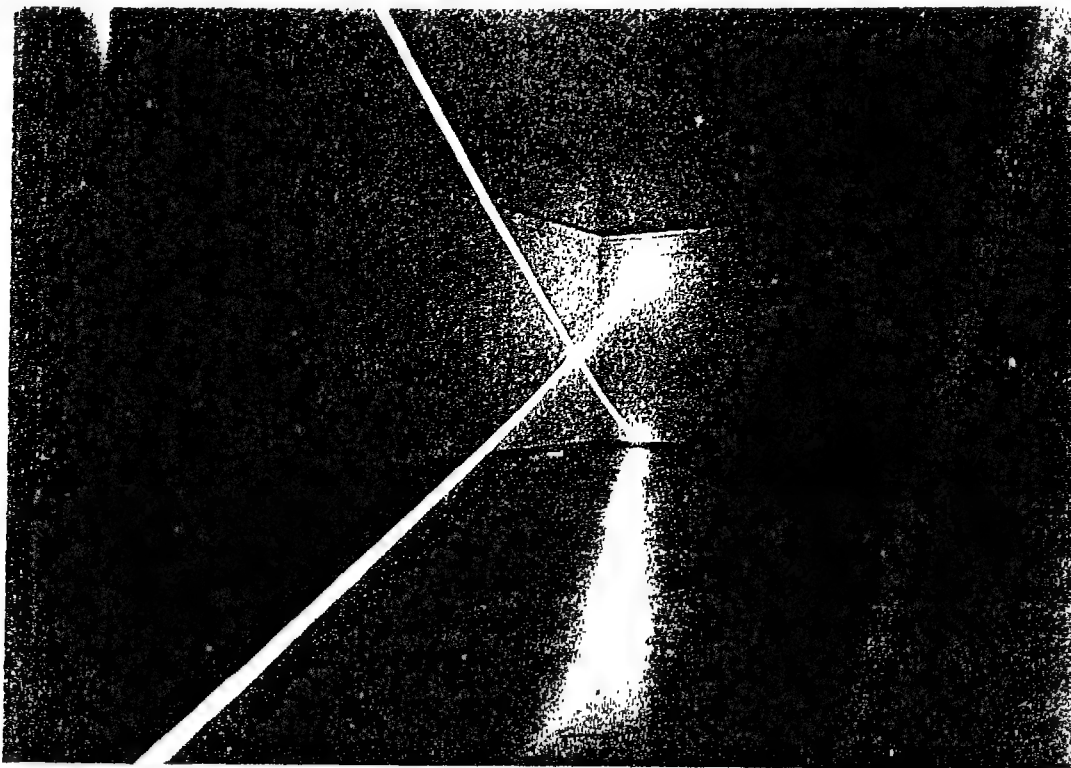
- ١٢٧ -



شكل (٣٧) شرائح الضوء المعلق - للفنان دي وين فالنتين



- ۱۲۸ -



شکل (۳۸) خط النهار - للفنان دی دین فالنتین



بالحفر إلى الخارج ، وتم الحفر في منطقتين في الركن الجنوبي الشرقي ناحية الأرضية، وكذلك في الركن الجنوبي الشرقي ناحية السقف، ثم بعد ذلك تم تثبيت قضيبين من الأكريليك أحدهما يمتد بطريقة قطرية من مركز سقف الغرفة إلى الحفرة الموجودة في الجدار والقريبة من الأرضية، والقضيب الآخر يمتد من مركز أرضية الغرفة ليصل إلى الحفرة الموجودة في الجدار والقريبة من سقف الغرفة. وبهذه الكيفية تقاطع القضيبان وصنعا حرف " x " كبير. (٢٩)

## ٢- إضاءة النقوش الغائرة ITAGLIO

وإذا ما أحدثنا نقوشا أو حفرا على سطح لوح الأكريليك بطريقة أو بأخرى، فإن بعضا من الضوء سوف ينفذ إلى الهواء محدثا نوعا من التوهج الضوئي، ويمكننا إعاقة الأسطح العاكسة بطريقة متعمدة في أى تصميم من التصميمات المصنوعة من الأكريليك والتي يقصد بها تسريب الضوء إلى الخارج ، بحيث يتسرب الضوء خارجا من خلال أى قطع أو حفر يقوم به الفنان على السطح الخارجى لذلك التصميم. وبتحديد خاصية الضوء الذى سوف نحققه اعتمادا على زاوية السطح المخدوش مع السطح اللامع (شكل ٣٩) ومدى عمق القطع أو الحز والمسافة التي تبعده عن مصدر الضوء.

ويمكن استخدام شريط من الأكريليك به ثقوب ذات أعماق متزايدة محفورة على مسافات متساوية بطول خط عمودي على مصدر الضوء كمرجع ودليل لنا .

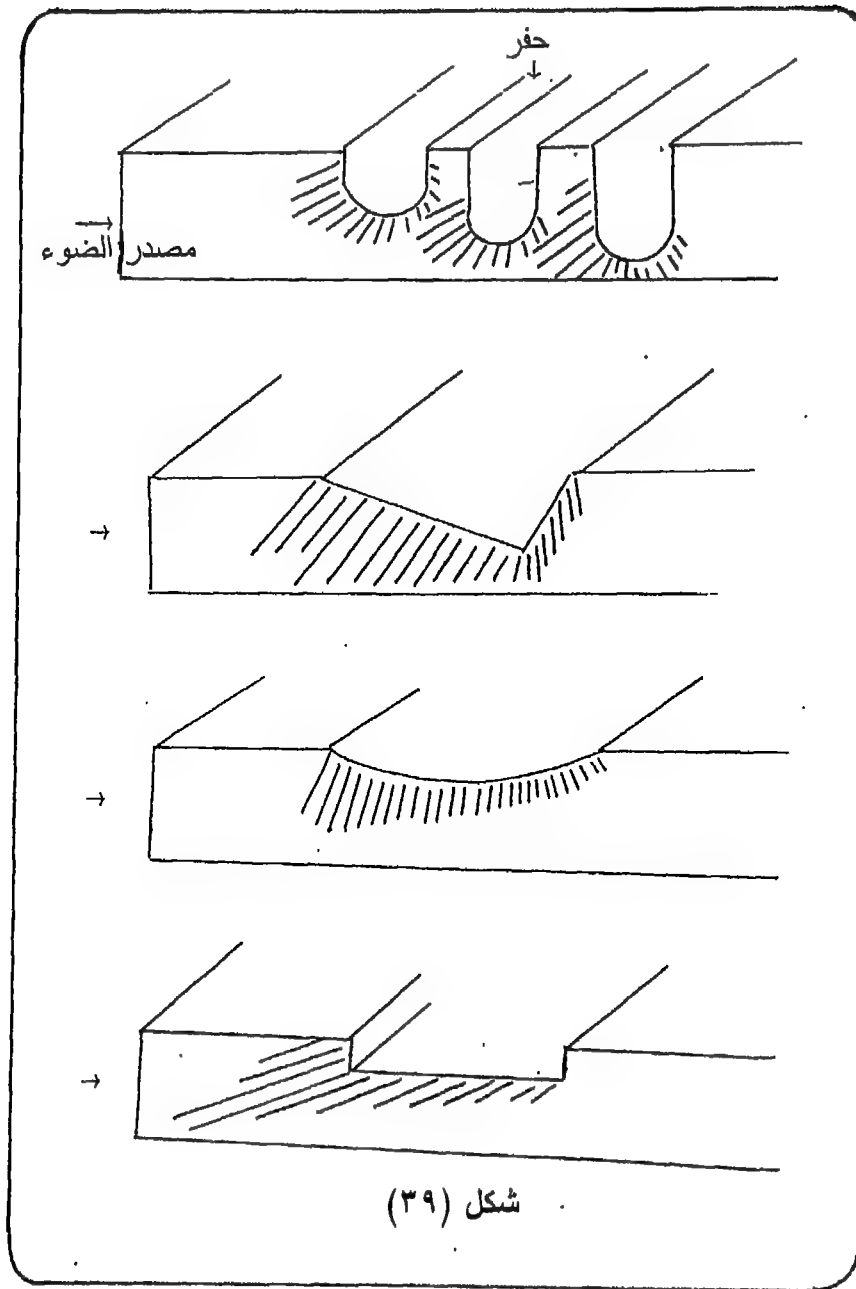
يظل السطح المصقول غير مضئ بحيث يمكن عمل تأثيرات رائعة عبر تداخل المسافات غير المضاءة مع التشكيلات التي تم حفرها، فتظهر الصورة المنحوتة بارزة ومجسمة بالضوء المتألق. ويمكن مضاعفة هذا التأثير عن طريق تلوين اللوح بالألوان المناسبة، كما يمكن أن يبقى الضوء داخل الأكريليك عن طريق تغليف الحواف جيدا بورق الألومنيوم أو لون اكريليك أبيض، وفي هذه الحالة سيتم عكس الضوء إلى داخل اللوح وتركيزه عند الحزوز المحفورة (شكل ٤٠) فتظهر الصورة بارزة وكأنها مجسمة بالضوء المتألق، ويمكن مضاعفة هذا التأثير عن طريقة تلوين اللوح بالألوان المناسبة (٣١).

استخدم الفنان " فرد دريهير " Fred Dreher في عمله النحتي المسمى الحراس (شكل ٤١) "Sentinels" كلا من الخطوط المحفورة والثقوب بالإضافة إلى استخدامه للحواف المنحنية. وفي هذا العمل النحتي، تتناقض الأشكال ذات اللمعان الشديد مع القاعدة المصنفرة Frosted base التي يتم اسقاط الضوء من خلالها.

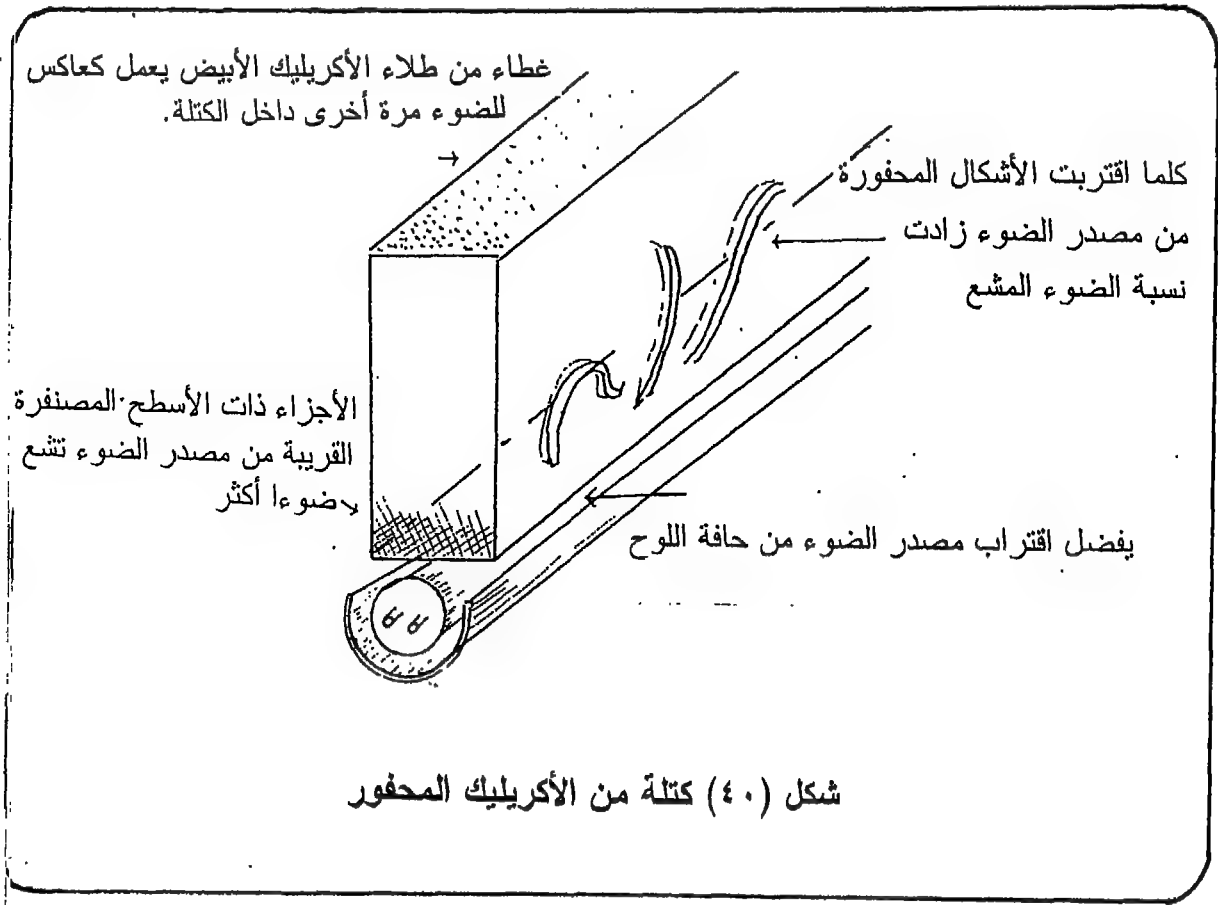




- ١٣٠ -

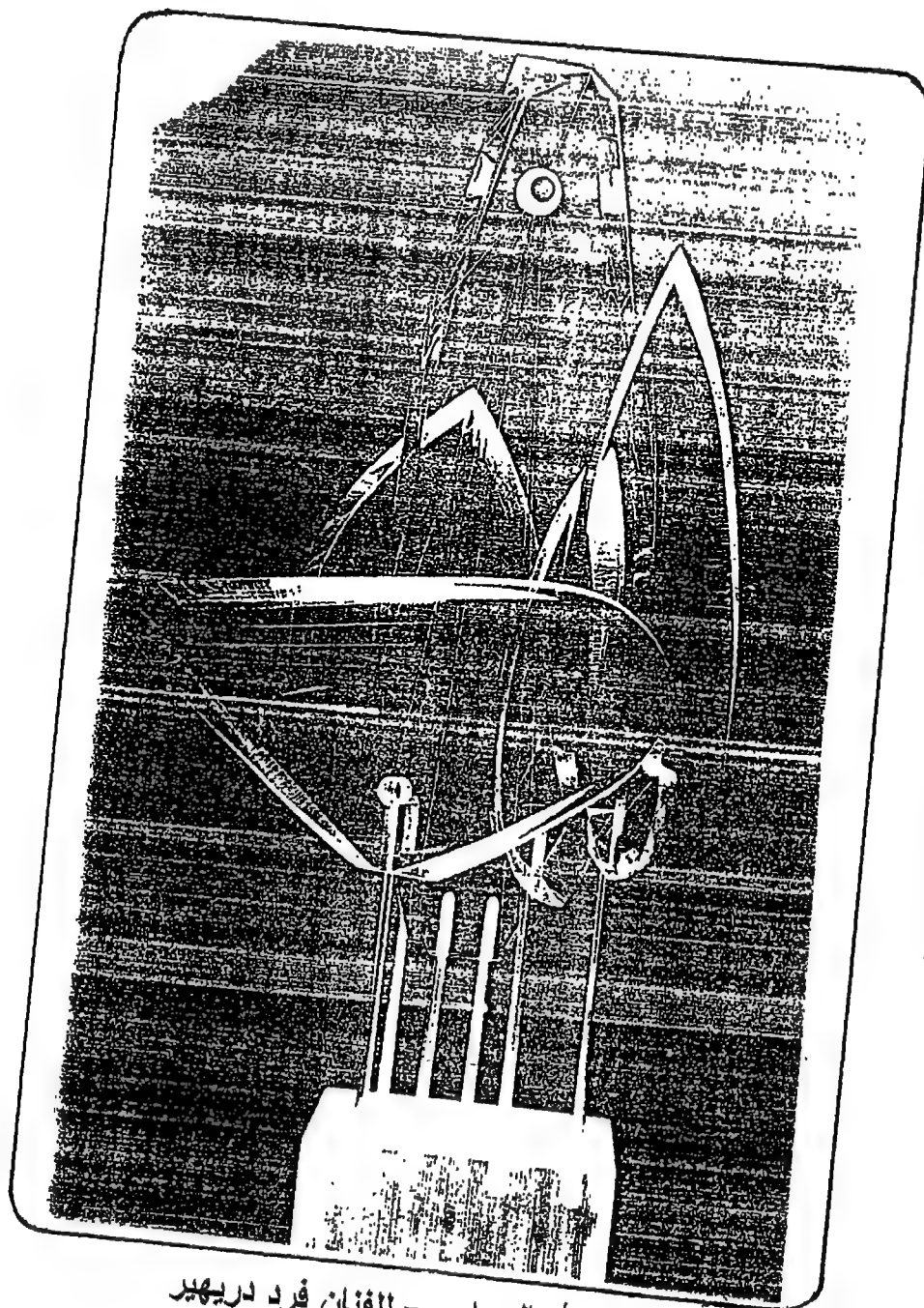








- ۱۳۲ -



شکل (۴۱) الحراس - للفنان فرد دریهیر



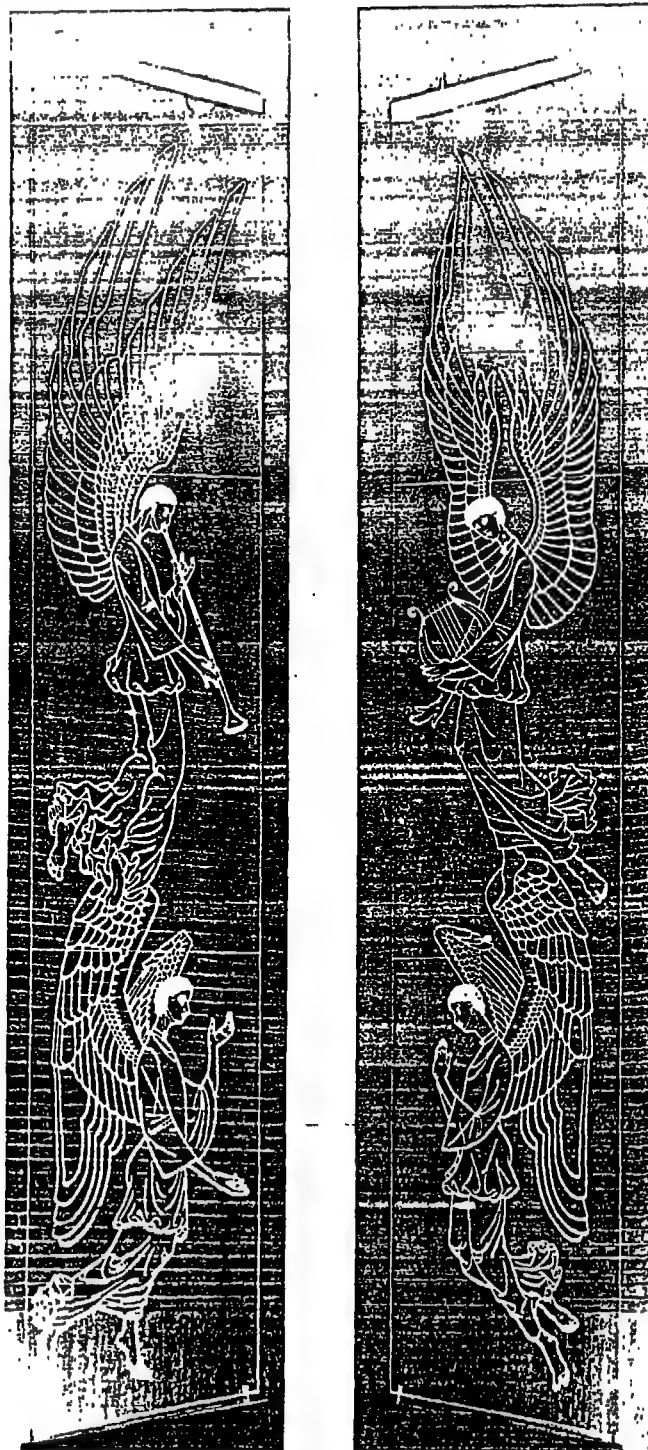
وغالبا ما يقوم " دريهير " بإخفاء مصدر ضوئي في قاعدة العمل النحتي. وباستخدامه مناشير يدوية يقوم دريهير بقطع أشكاله التي يصنعها من الواح يتراوح سمكها ما بين بوصة وثلاث بوصات، وبعد أن يقوم بصقل تلك الأشكال تصبح مثل الكريستال في وضوحها ولمعانها.

ويوضح (شكل ٤٢) صورة لتفاصيل الجدران أو الحوائط الأكريليكية المحفورة اليمنى واليسرى التي قام بعملها روسيل كاروس بالإضافة إلى المنظر الكلي الذي يبين كيف يجعل المصدر الضوئي الخطوط المحفورة قادره على إصدار الضوء.

ومن بين الأعمال الضوئية المنفذة بخامة الأكريليك عمل للفنان توريل الذي عرض في متحف الفن باسادينا (شكل ٤٣) ولقد سمى العمل افرام Afrum وهو عبارة عن مكعب من الأكريليك ذي ثلاثة أبعاد من الضوء ، متدلّيا في ركن من أركان غرفة مظلمة دون وجود ما يدل على أن هناك شئ يمسكه. ويبدو ذلك المكعب غامضا ومبهما، وكأنه ذو كثافة ووزن. وفي الحقيقة فإن ذلك المكعب لم يكن ليأخذ وضعه بهذا الشكل إلا من ضوء كثيف مسلط عليه من جهاز يصدر ضوءا قويا (٣١).



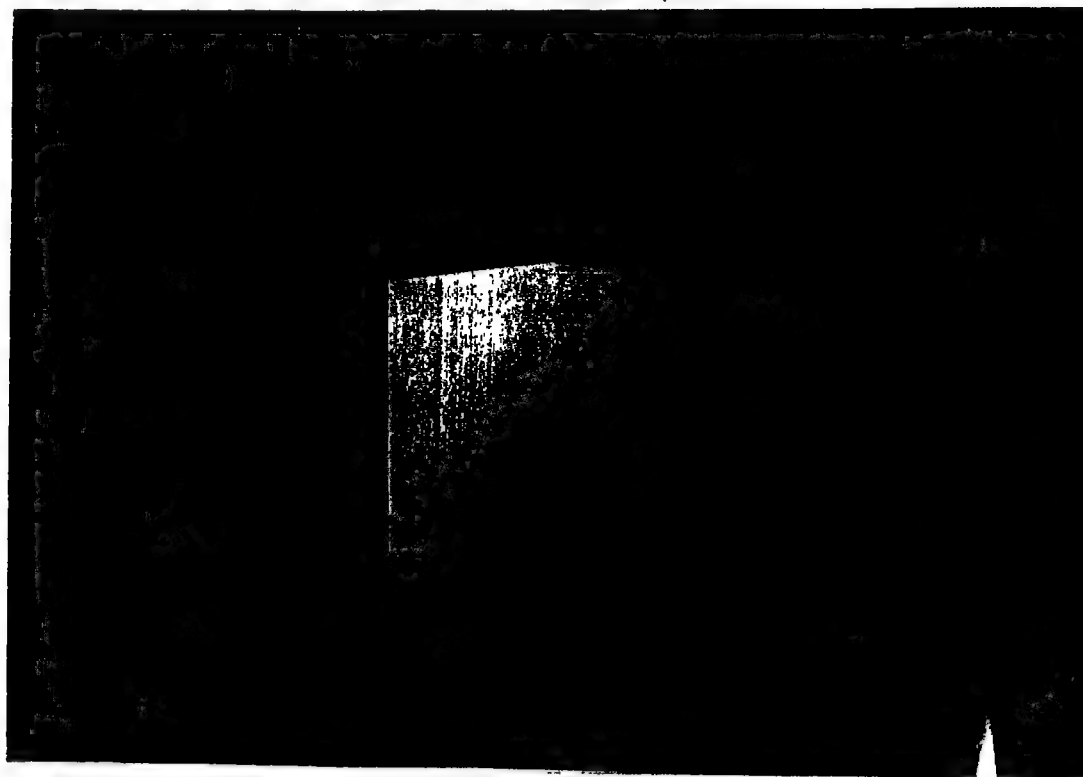




شكل (٤٢) حوائط إكريليكية - للفنان روسيل كاروس



-١٣٥-



شكل (٤٣) مكعب من الأكريليك الفنان توريل



## الفصل الثالث التشكيل بالتلوين



يقول كولترمان Coulterman في مقاله عن الألوان " الألوان هذه الصورة من صور الإفصاح عن واقع بعيد الأغوار، تحمل من المعاني والدلالات ما يفيض على العقل ومجال الوعي، يشق الطريق على عوالم السحر والانفعال، وإن ما تحتفظ به من فعالية وتأثير مرجعه إلى ثوابت لا شعورية ظلت قائمة على مر آلاف الأعوام، ورغم تطور الإنسان" (٢٧).

### البلاستيك الملون صناعيا

تتكون المواد الملونة في صناعة البلاستيك من مجموعتين الأصباغ Dyes ، والمخضبات Pigments، ويمكن التمييز بينهما عن طريق قابلية الذوبان أو عدم القابلية للذوبان في وسط البلاستيك. فالأصباغ عادة تكون ذائبة وتعطى للبولىمر الذائبة فيه لونها، وعلى الجانب الآخر فإن المخضبات غير ذائبة، وتعطى لونها للوسط عن طريق انتشار جزيئاتها فيه وتتميز الأصباغ بأن ألوانها نقية زاهية، شفافة، وهى أقل ثباتا للضوء والحرارة عن المخضبات، ومع ذلك فإن هناك البعض من ألوان هذه المجموعة من الأصباغ تتميز بثباتها عن المجموعة الأخرى.

### خواص المخضبات

تنقسم خواص المخضبات إلى ثلاث أقسام:

- ١- خواص بصرية Visual
- ٢- خواص تشغيل Processing
- ٣- خواص الخدمة أو الكفاءة Service

وتتعلق الخواص البصرية بقدرة المخضبات على الانتشار أما خواص التشغيل، فالمقصود بها القدرة على التفاعل مع الخامة والثبات الحرارى، والتأثير على الخواص الطبيعية للخامة، حيث ان بعض المخضبات - وخاصة تلك التي تحتوى على املاح معدنية - يمكن أن تتفاعل مع البولىمر المذاب أو المنصهر أثناء التشغيل فتغير من لونه أو لزوجته. كما يمكن أن تؤثر بعض المواد المساعدة وخاصة المحتوية على النيكل على ثبات اللون، ونتيجة لإختلاف البولىمرات من ناحية هندسة الجزيئات، فإن أنواع المخضبات المستخدمة يمكن ان تتعرض لمدى واسع من الحرارة. ولذا فإن الثبات الحرارى عنصر هام للغاية.





أما عن خواص الخدمة فإن بعض من الخواص الهامة لمتطلبات الخدمة هي الثبات الضوئي ومقاومة الهجرة (هي تحرك جزيئات اللون المتجانس في الوسط بعيدا عن أو قريبا من مؤثر خارجي مثل الحرارة والإجهاد) والخواص الكهربائية.

تختلف متطلبات الثبات الضوئي حسب احتياجات الاستخدام حيث تتراوح بين درجات ثبات عالية جدا إلى درجات متوسطة للأعمال الداخلية وكذلك تتأثر درجة الثبات للضوء بكمية الرطوبة، ويتراوح التأثير بين خفوت اللون (باهت) والإعتام. تنقسم المخضبات إلى نوعين: عضويه وغير عضويه، وتتميز المخضبات غير العضويه بأنها أقل تكلفة وحجم جزيئاتها أكبر، وقدرتها على التغطية أكبر، ومقاومتها للضوء والحرارة أعلى، ولديها قدرة أكبر على الانتشار، ويسهل تقنيته وإن كانت قابلة للصنفرة، وألوانها تميل إلى القتامة.

أما الأصباغ العضوية فإن تكلفتها أعلى، قوتها أكبر، أصغر في حجم الجزيئات، وأكثر شفافية، ومعرضه أكثر للانتشار، وحساسه أكثر لتأثيرات الحرارة والضوء، كما أن ألوانها أكثر زهاء.

وهناك أنواع من المخضبات المستخدمة في تلوين البلاستيك يمكن أن تعطي ألوانا ذات خاصية الإشعاع الضوئي ويعيب هذه الألوان أن ثباتها الضوئي ضعيف وكذلك ثباتها للحرارة.

ويمكن استخدام مواد لإعطاء تأثير لؤلؤي ينتج عن انعكاسات خارجية وقدرة على بعثرة الضوء في اتجاهات متعددة. وكذلك إضافة مساحيق معدنية للحصول على تأثيرات انعكاسية مثل مسحوق الألومنيوم والبرونز<sup>(١)</sup>.

ويوضح (شكل ٤٤) تباين الدرجات اللونية (المتدرجة من الشفافية والمعتمة المصنوع منها خامة الأكريليك، وكذلك الأنواع ذات التأثير اللؤلؤي وغيرها التي تعطي ملمس المعدن - الرخام.



- ١٣٩ -



شكل (٤٤) تباين الدرجات اللونية لخامة الإكريليك



## التشكيل النحتي باللون

يمكن للنحات تلوين العمل النحتي المنفذ بخامة الأكريليك الشفاف بأكثر من طريقة، أما باستخدام الطلاءات، وأما بالتشكيل المباشر بالألواح الملونة سواء الشفاف منها أو المعتم (شكل ٤٥)، أو تلوين العمل بالإضاءة المحكمة التي لها القدرة على خلق تغيرات سريعة وفائقة في اللون والشدة، كما إنها تضيف بعداً زمنياً وترفع من قيمة العمل الفني وتثقل المشاهد بخياله وكأنه يعيش بالفعل زمن العمل. كما قد يلجأ الفنان إلى التجارب التي أجراها العلماء سواء في مجال الفيزياء أو الفسيولوجيا أو علم النفس إذ أن استيعابه لهذه القواعد يفيد في توظيف أهدافه التشكيلية إلى رسائل للمتلقي بمختلف أغراضه النفسية والفسيولوجية<sup>(٢٠)</sup>.

## أولا التلوين بالضوء

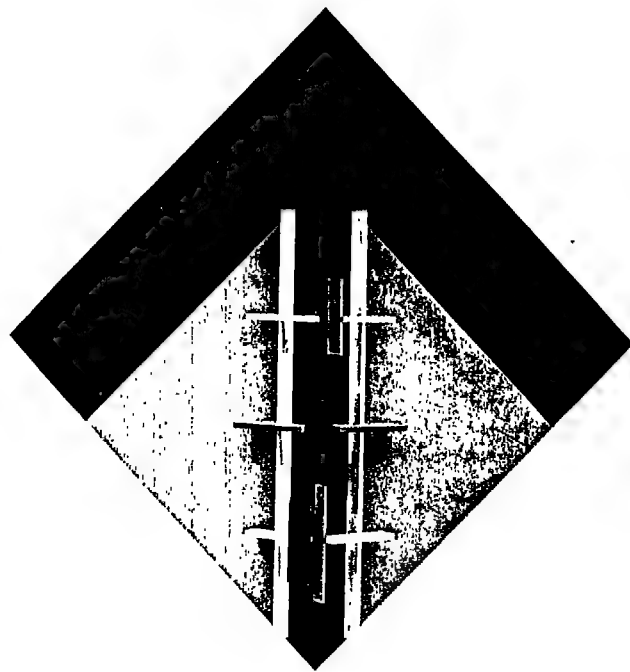
الضوء الملون له سحر وجاذبية خاصة لا توجد في الألوان الصبغية لما له من ميزة الإضاءة والإشعاع، ويمكن رؤيته والتمتع به بوضوح خاصة لو كان هناك إظلام، وهذا يقوي من عملية استقبال الأشياء والإحساس بها.

ويهتم فنانون الضوء والفراغ بالإدراك الحسي باللون. فعندما يستخدم اللون فإنه لا يستخدم من أجل ذاته ولكن استخدامه يكون على أساس أنه تواجد حي ملموس<sup>(٢٠)</sup>.

وقد يلجأ الفنان إلى خلق نوع من الحوار بين المساحات المضيئة وشبه المظلمة والشفافة، ولا شك أن الألوان عامل هام من عوامل خلق الجو المناسب لما يريجه الفنان بما تضيفه من قيم جمالية، لذلك تسهم الإضاءة في إبراز الأبعاد النفسية ونقل المتلقي إلى حالة نفسية أو عاطفية، وبين نزعة واقعية أو الخيال الكامن في النفس، ويختلف هذا التأثير باختلاف سخونة أو برودة ألوان الضوء.



-١٤١-



شكل (٤٥) نحت بارز شرائح من الأكريليك الملون





## وسائل تلوين الضوء

### ١- مرشحات اللون

هى شرائح ملونة تعترض مسار الضوء لتكسبه لونها، إن الشريحة اللونية لا تخلق لونا جديدا، بل هى تنقل لونها، فإذا ما سقط شعاع ضوئي أبيض على الشريحة فإنها تمتص كل الألوان المكونة للشعاع. وتسمح بمرور لونها هى فقط، و أشهر أنواع هذه الشرائح الزجاج والبلاستيك.

والملاحظ أن استخدام الزجاج الملون قد يسبب انكسارات وانعكاسات، كما أن ألوانه محدودة جدا، بالإضافة إلى تشققه إذا كان المصدر الضوئي قويا وظل مضاء لفترة طويلة، وقد توصلت شركة استراند الإنجليزية إلى ابتكار شرائح رقيقة من السيللويد عرفت باسمها التجاري "سينمويد Cinemoid". هذه المرشحات عبارة عن عجيبة من خلات الاسيتات أضيفت لها الألوان من البداية مما أتاح الفرصة للحصول على العديد من الألوان الأصلية والثانوية سواء الساخن منها أو الزاهي أو الباهت. وتشكل هذه اللدائن على هيئة رقائق شفافة تمتاز بنقاؤها بصريا، إذ يمكن رؤية الأشياء من خلالها دون أية انكسارات أو تشوهات لصورة هذا الشيء المرئي<sup>(٢٦)</sup>.

### ٢- لمبات التوهج

توجد وسائل أخرى للحصول على إضاءة ملونة قد تؤدي الغرض المطلوب منها فنيا، ومن بين هذه الوسائل اللمبات العادية المغموسة في المحاليل اللونية فتغطي سطوحها الخارجية بالمادة الملونة. ومن عيوب هذه اللمبات أنه الطبقة اللونية الخارجية تتأثر بمرور الوقت بفعل الحرارة العالية نتيجة لإضاءتها فترة طويلة ولمرات عديدة، الأمر الذي يجعل هذه الطبقة اللونية تتحول إلى لون داكن. (٢٧)



## نموذج لعمل نحتي ملون بالإضاءة الملونة

من أعمال الفنانين التي لعبت فيها الإضاءة الملونة دورا هاما في إبراز قيمة تشكيلية به، العمل المسمى "موسيقى الألوان" للنحات جون فان سون John Van Saun (شكل ٤٦):

والشكل عبارة عن مستطيلات من الأكريليك، عددها ستة عشر مستطيل ويحتوي على إضاءة متغيرة من مختلف الألوان، ويصحب عرض هذه الأعمال مصادر صوت تصدر موسيقى وتتغير ألوان المستطيلات. والعمل بهيئته الشكلية يقوم على البناء الهندسي المتحقق من المستطيلات المنفذة من خامة الأكريليك التي تسمح بمرور الضوء، وبذلك يعتمد العمل على القيمة اللونية المتغيرة بتغير الإضاءة التي تعمل بدورها على إيجاد نوع من الحركة في الشكل. (١٠)

## ثانيا : التلوين بالمواد الصبغية

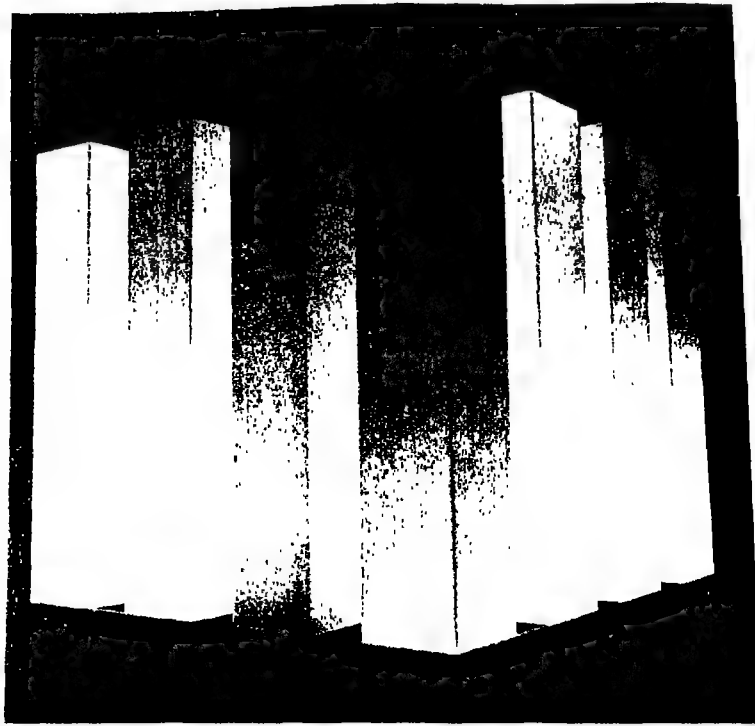
يمكن الحصول على الأكريليك بمدى واسع النطاق من الألوان المضيئة، أما إذا كلنت الألواح الصلبة الملونة غير متاحة، فإنه يمكن تلوينه بعدة طرق: أما بغمره في المحلول الصبغي أو دهانه بالفرشاه، أو رش اللون بواسطة الهواء المضغوط أو باستخدام مخضبات الألوان الخاصة بالبوليستر والأيبوكس (٣١).

## طبقة طلاء برايمر شفافة

وضع طبقة من برايمر الأكريليك الشفاف سيحسن من التصاق اللون الأبيض وبعض الألوان — مثل الأخضر — على الأكريليك. وهذه الطريقة قد لا تحسن التصاق كل الألوان، ولكنها يجب أن تستخدم كأجراء ثابت تحت اللون الأبيض. والتكسية الشفافة يجب أن يتم تجفيفها لفترة تتراوح من ١٥ إلى ٢٠ دقيقة قبل إضافة أى طلاء ملون، والتكسية الملونة يجب أن يكون سمكها ملليمتر واحد على الأقل كي تكون قوية الاحتمال.



-١٤٤-



شكل (٤٦) موسيقى الألوان مستطيلات من الأكريليك



## طرق تلوين الأكريليك

### ١- صبغة الأكريليك بطريقة الغمس Dip – dying Acrylic

يمكن أن يتم صبغة لوح الأكريليك الشفاف أو الأشكال المنحوتة إما عن طريق غمس البلاستيك أو مسحه بواسطة صبغات. والأصباغ المتوفرة عادة هي من الأنيلين anilines في قاعدة مائية اسيتونية (الأنيلين هو سائل زيتي سام يستخرج من قطران الفحم ويستخدم في صنع الأصباغ والعطور) وبعد عملية الغمر أو المسح للأكريليك الصلب، يتم الحصول على درجة اللون الشفاف المطلوب، ثم يتم بعد ذلك شطف البلاستيك بالماء وتلميعه بواسطة قطعة قماش ناعمة. ويمكن أن يتم طلاء لوح الأكريليك الشفاف بالعديد من الدهانات ذات القاعدة غير المائية بما فيها استر الأكريليك والفينيل ودهانات المينا اللامعة.

وتكون طريقة تنفيذ التصميمات الملونة عن طريقة تغطية أجزاء ومساحات من اللوح بقناع Grip – Mask (وهو عبارة عن خامة للتغطية – زرقاء اللون وشفافة – يتم فرشها كسائل بواسطة فرشاه، أو يتم رشها (كرزاز) مباشرة على اللوح. وعندما يجف هذا القناع يكون ما يشبه شريحة رفيعة شفافة يتم القطع خلالها بقاطع أو نصل حاد لفتح مساحات لوضع الألوان بداخلها، ويمكن فرش هذا القناع عدة مرات، ثم يتم نزعها في النهاية عندما ينتهي التصميم<sup>(١٧)</sup>.

### ٢- تلوين الأكريليك باستخدام عجائن البوليستر

يتم تخديش وترميل السطح لإعطاء حواف أو اسنان، وبعد مسحه بالكحول يتم التلوين بعجائن البولي أستر الملون، ثم يترك ليجف. وفي هذه الحالة يمكن ضغط الخامات الأخرى مثل الزجاج في داخل سطح الراتنج الطري، وذلك لإضافة أشكال جديدة<sup>(١٨)</sup>.

### ٣- صبغة الأكريليك باستخدام مسدس الرش

يمكن أن يستخدم مسدس طراز MBC الذي تنتجه شركة ديفيليس Deviliss، أو أي طراز مشابه له ذو فوهة مناسبة ومكبس للهواء ملائم له، وعادة ما يكون مكبس الهواء ذو العدد الكبير من الأنابيب التي ينفذ منها الرذاذ هو المفضل لرش طلاء الأكريليك<sup>(١٩)</sup>.





## عمل نحتي ملون باستخدام ألواح الأكريليك الملونة الشفافة

ومن بين النحاتين الذين استهوتهم المواد البلاستيكية بطبيعتها، وتكوينها، وقدرتها على العطاء، وثنائها اللوني، وطواعيتها النحات جينو ماروتا Gino Marotta حيث استخدم الفنان ألواح الأكريليك الملونة الشفافة في عمله الذي يطلق عليه "نخيل في بيئة" (شكل ٤٧)، ويعتمد العمل بالدرجة الأولى على العنصر اللوني للمادة، فاستخدم درجات لونية متباينة في بناء العمل مستغلا شفافية المادة مما تعطى التداخل والامتزاج اللوني بين عناصر العمل مما يعطي نوعا خاصا من القيم اللونية عند تقابل طبقات مختلفة من اللون، وهنا رغم ضخامة العمل واتساع قاعدة ارتكاز الأعمال إلا أنها تظهر بصورة خفيفة، وتعتمد رؤية الشكل على الحدود الخارجية واللون، وتم الاعتماد في التشكيل على عمليات القطع واللصق باللواصق المجهزة خصيصا لهذا الغرض<sup>(٢٩)</sup>.

## نموذج لعمل ملون بالسوائل المتحركة

(شكل ٤٨) خط الضوء Light Line

للفنان ميشيل مكنينون Micheal Mchninon

استخدم الفنان البريطاني ميشيل مكنينون بوليمر الأكريليك بصورة أخرى تمكنه من الوصول إلى قيم وأبعاد فنية جديدة تميز أعماله عن الأعمال الأخرى المنفذة بهذه المواد. فالحات لجأ إلى تحقيق عمل نحتي مستخدما حركة السوائل حيث يقوم بتشكيل بلاستيك الأكريليك وحقنه بسوائل ملونة في الفراغ الداخلي للعمل الشفاف، وتعزيز العمل في النهاية لنوع من الحركة.

ولقد صممت هذه النوعية من التشكيل النحتي ليتم تركيبها على الحائط لتتحرك في اتجاه مضاد لإتجاه عقارب الساعة، والنتيجة أن الشعور الحركي للمادة السائلة الملونة يتغير بالكامل وبشكل جذري في العمل.

وتتميز منحوتات هذا الفنان بلمعانها، وخفة الوزن، وتخلق حركة السوائل داخل الجسم الشفاف نوعا من الشفافية المتغيرة ذات الحس والأثر الجمالي.

ويتكون النحت الحركي للسوائل الذي يستخدمه هذا النحات في أعماله من أربعة

مكونات أساسية :



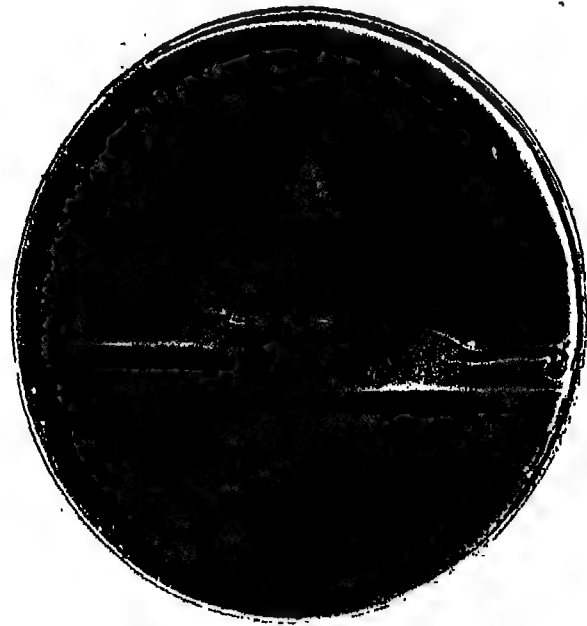
-١٤٧-



شكل (٤٧) انخيل فى بيئة - تشكيل بالأكريليك الملون الشفاف  
- للفنان جينو ماروتا.



-١٤٨-



شكل (٤٨) خط الضوء تشكيل بالسوائل المتحركة



- ١- إعداد شكلين خارجيين في تشكيل خاص، أحدهما أمامي والآخر خلفي.
  - ٢- إعداد شكل دائري غير منتظم الشكل يوضع داخل الشكل الأول ولاصق به، لتكوين ما يشبه الخلية أو الحويصلة.
  - ٣- زيوت وماء وأصباغ مناسبة
  - ٤- موتور سرعته ١/١٠ مثبت في الشكل الصدفي من الخلف.
- والأصباغ التي تستخدم في هذه النوعية من التشكيل هي الزيوت والماء المقطور، لأن استخدام المياه من الصنبور مباشرة قد تحتوي على كيماويات يمكنها أن تحدث تفاعلا كيميائيا بين الأصباغ والماء، كما يلجأ الفنان إلى إضافة كمية صغيرة من الجلسرين إلى الماء لمنع تكوين الفقاعات الهوائية الناتجة عن هذا التفاعل، مع مراعاة أن الأصباغ المستخدمة يجب أن تكون نقية وغير محتوية على مواد مائلة لأن وجودها يعمل على إبطاء حركة هذه السوائل، وتجعل لونها قاتم وغير شفاف، ويجب أن تكون درجة اللون ثابتة ولا تتغير بمرور الزمن. (١٥)





## الفصل الرابع

### الشفافية



## مفهوم الشفافية

تعتبر الشفافية من الحالات الطبيعية للسوائل، وهى نادرة في المواد الصلبة<sup>(٣٢)</sup> حيث أن معظم المواد البلاستيكية في حالاتها النقية تكون بيضاء أو شفافة. وعلى ذلك فمن الممكن أن نحصل على أى لون منها بإضافة صبغات ملونة، وأن ننظم قوامتها بإضافة الخضاب. إلا أننا نجد أن بعض المواد البلاستيكية لها دائماً درجة من اللون الذاتى. وحين يكون هذا هو الحال، فإنه يفرض على هذه المواد حدود تلوينيه خاصة، ومع ذلك فإن صفة عدم وجود اللون والقرب من الطبيعة الشفافة هى من الأسباب الهامة في تعدد مزايا البلاستيك واستعمالاته<sup>(٣٣)</sup>.

ونجد أن لون الأشياء غير الشفافة يعتمد على لون الضوء الساقط عليها، أما لون الأشياء الشفافة فيعتمد على لون الضوء النافذ منها<sup>(٣٤)</sup>. وتزداد كمية الضوء المار خلال الجسم الشفاف بازدياد وتجانس بنية الجسم، كما يزداد الضوء الأبيض المنعكس من السطح كلما زادت نعومة هذا السطح ودرجة صقله<sup>(٣٥)</sup>.

## انتقال الضوء داخل المواد الشفافة

إذا قابل شعاع ضوئى جسماً شفافاً، فإن جزءاً من الضوء، ينعكس على السطح، كما يمتص هذا الجسم الشفاف جزءاً آخر من الضوء الساقط، وأما الجزء الثالث منه فإنه يخترق الجسم الشفاف ويمر منه. ويساوى معامل انتقال الضوء داخل الجسم الشفاف

الفيض الضوئى الذي مر عبر الجسم

الفيض الضوئى الذي استقبله هذا الجسم

ويكون انتقال الضوء داخل الأجسام الشفافة والنصف شفافة إما منتظماً أو مشتتاً.



#### أ- الانتقال المنتظم للضوء داخل الأجسام الشفافة

هو ما يحدث للضوء المار خلال الجسم الشفاف أو الماء وفيه تحتفظ الأشعة الضوئية بتوازيها، ولا يحدث للضوء أى تحور بمروره خلال الجسم الشفاف، وأن كل ما يحدث هو انكسار لأشعة الضوء عند السطح كما هو مبين (بشكل ٤٩).

#### ب- الانتقال المشتت للضوء داخل الأجسام النصف الشفافة

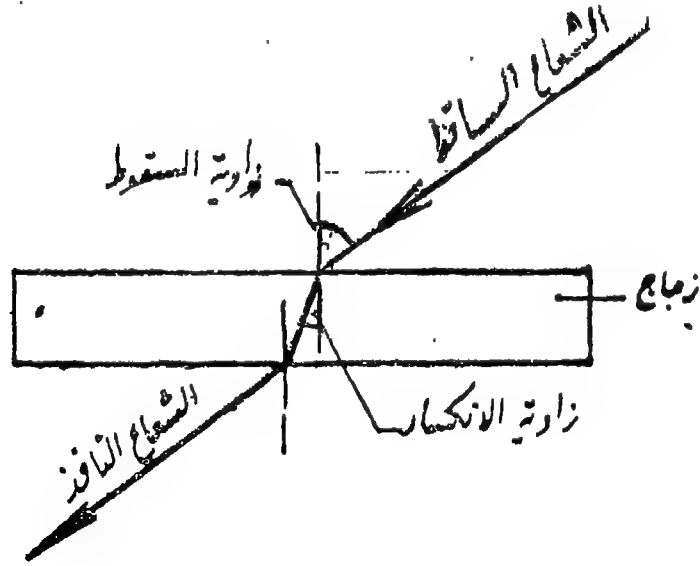
يتغير اتجاه الضوء خلال انتقاله داخل الجسم النصف شفاف، فيوزع في كل الاتجاهات ويعطى إحساسا موحدا لضياء السطح ويقال عن هذا الجسم النصف شفاف أنه كامل التشتيت للضوء، ويكون منحنى توزيع الضوء في هذه الحالة كما هو مبين في (شكل ٥٠).

يعتمد الفنانون عند استخدام الخامات النافذة للضوء على استغلال خاصية الامتصاص والنفوذ للأشعة الضوئية الساقطة على الشكل والاعتماد على معاملات الانكسار الضوئي للأشكال الشفافة عند حواف السطوح، فيحدث إحياء بصري بتحول الشكل الفراغي من حالة مجسمة إلى خطية تحدد الحيز الفراغي وتشكله بمجموعة من الخطوط الضوئية الناشئة عن انكسار الضوء على الحواف وانحرافه، بينما ينفذ كم ضوئي كبير من الخامات الشفافة.

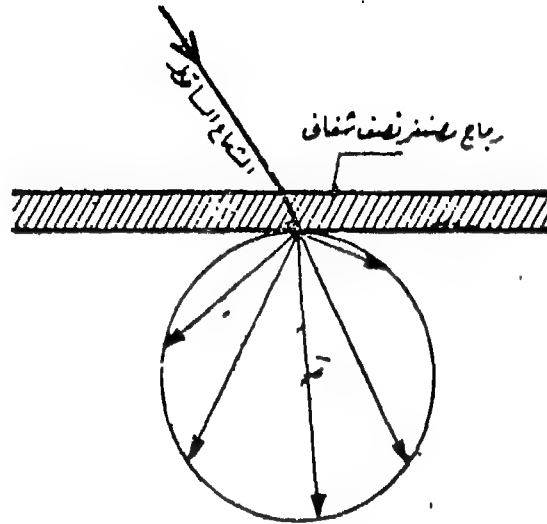
أما في حالة الخامات شبه الشفافة فإن كم الضوء النافذ يرتبط عكسيا مع درجة امتصاص السطح للضوء، وطرديا مع درجة نفاذه الخامة. كما يستخدم الفنان عمليات الجلفنة للسطوح المعدنية لإلغاء أو تغيير الصور المعكوسة، فإن الفنان يلجأ إلى الخامات شبه النافذة، أو شبه المعتمة لإيجاد بعدا تعبيريا للشكل يحقق من خلاله الحالة الجمالية نتيجة استغلاله معاملات الامتصاص والنفوذ الضوئي لتلك الخامات<sup>(٢٩)</sup>.

إن إدخال البلاستيك كمادة أوله في الأعمال الفنية كان لأنها مادة توفر خاصية الانعكاس والشفافية والمرونة في التشكيل، وأيضاً إلى تفاعلها مع الضوء، كما أن مادة البلاستيك ساهمت في مطلب بعض فناني العصر الحديث في إلغاء مادية الأجسام الصلبة، وعلى رأسها الفنان ناعوم جابو<sup>(٢٨)</sup>.





شكل (٤٩) الانتقال المنتظم للضوء داخل الأجسام الشفافة



شكل (٥٠) الانتقال المستطير للضوء داخل الأجسام النصف شفافة





فلقد هيات مواد البلاستيك والزجاج الفرصة للفنانين لتحويل الأسطح الصلبة الموجودة في أعمالهم الفنية إلى أسطح يمكن وصفها بأنها لا مادية. وكان جابو يؤمن بالتأثير النفسي للمواد المختلفة، وكان اهتمامه في أعماله الفنية النحتية يتركز على شئى مخالف تمام للحقائق الحسية الملموسة في الفترة الزمنية السابقة عليه، ولذلك فإننا نجد أن أعماله تلك كانت تميل إلى هدم وإلغاء حقيقتها الحسية الملموسة، كما أن تلك الأعمال الفنية ومن خلال استخدام عنصرى الضوء والفراغ تحطم حدودها القياسية.

فى أثناء الستينيات بدا عدد من الفنانين فى جنوب كاليفورنيا استخدام مواد الفايبر جلاس والأكريليك ولدائن البولى استر، ولم تكن هذه الحركة رسمية وسرعان ما لقيت بحركة لوس أنجلوس للزجاج والبلاستيك " L.A. Glass and plastic " يرجع انتشارها إلى شفافية الزجاج والبلاستيك وقدرتهما على الإشعار بأنة ليس هناك مادة تماثل هاتين المادتين المثالييتين فى نقل الأفكار الخاصة بالضوء والفراغ واللون بأسلوب محكم ودقيق. ومن الفنانين الذين تعاملوا مع أوساط الزجاج والبلاستيك " تشوارنولدى " و " رون كوبر " ورون دافيز "، و " ناعوم جابو " و " موهولى ناجى ". وكل واحد من هؤلاء الفنانين استكشف الشفافية واللاشفافية أو النصف شفافية لمادة البلاستيك، واستكشف أيضا قدره البلاستيك على حمل ألوان براقعة<sup>(٢٠)</sup> وكان النحت الشفاف يسمى بأسماء عديدة مثل " مشكلات الضوء " وتكوينات ضوئية " و " النحت المنشورى " (النحت الذي يعتمد على ألوان الطيف)<sup>(٢١)</sup> وسيجد الفنان أو النحات المعاصر فى إنتاج النحت الشفاف إمكانات بديعة بواسطة خامة الأكريليك باعتبارها أحد أهم مواد البلاستيك الحرارى وأكثرها جاذبية، فهى كما سبق وأن ذكرنا تتمتع بخاصية الشفافية العالية فتسمح بنقل نحو ٩٢ ٪ من الضوء، وبخلاف الزجاج فإن الأكريليك من الخامات القليلة التي تسمح بمرور الضوء عبر الشكل (شكل ٥١).

وهى تساهم فى إضفاء أبعادا تشكيلية مختلفة على العمل النحتي، فتعطى إحياء حسيا بخفة الأشكال رغم كبر حجمها، ويظهر العمل وكأنه مادة هلامية معلقة فى الهواء. وتسمح شفافية الأكريليك برؤية الأجزاء المكونة للعمل سواء من الداخل أو الخارج من أى زاوية وتبدو الحواف الخارجية لأجزاء العمل مشعة للضوء. كما تزداد الشفافية وضوحا كلما زاد كمية الضوء الساقط على العمل، فتحدث الشفافية تأثيرا مباشرا فى تراكب الألوان وامتزاجها فى الأعمال النحتية المنفذة بشرائح الأكريليك الشفافة الملونة، إلى جانب ما تحدثه الشفافية من عنصر ربط بين أجزاء العمل النحتي والبيئة المحيطة به سواء خلفية العمل أو قاعدته.



-١٥٥-



شكل (٥١) يوضح الإضاءة خلال أنابيب الأكريليك



ومن الأعمال النحتية التي نفذت بخامة الأكريليك ولعبت الشفافية فيها دورا بارزا، عمل الفنان كينسيث سلوك (Keneth Slote) (شكل ٥٢)، والعمل عبارة عن مكعب من الأكريليك الشفاف مثبت بداخله نصفى جذع آدمي. ولقد نفذ العمل بطريقة التشكيل الحراري وتفريغ الهواء، حيث اختلفت درجة الشفافية في أجزاء العمل باختلاف وضع المشاهد بالنسبة له، وذلك حسب اختلاف وتقابل شرائح الأكريليك المنفذ فيها العمل مع اختلاف زاوية الرؤية. والمكعب الشفاف المحتوي على النموذج بداخله يعد أكثر شفافية عن نصفى اللوح المشكل، لأنه يتكون من طبقة واحدة مسطحة، أما الأجزاء المشكلة بالداخل فإنها تتسم بالحركة والمرونة تبعا لتشكيل اللوح.

ويبين الفنان تاكايسو في عمله المسمى " دائرة فى الفراغ " (\*) الشفافية العالية لخامة الأكريليك حيث أمكن رؤية العمل بوضوح من زواياه من خلال خمسين شريحة متراصة من الأكريليك الشفاف بشكل لا يمكن أن تنتجه أى خامة حتى عصرنا الحالي (٣١).

(\*) شكل ( ٥٣ ) أ، ب الباب الرابع



-١٥٧-



شكل (٥٢) تشكيل بتفريخ الهواء - للفنان كينيث سلوت





## الباب الرابع

### تطبيقات عملية

- الفصل الأول : نماذج لبعض أعمال فنانين معاصرين منفذة  
بخامة الأكريليك
- الفصل الثاني : تجارب عملية للباحث



## الفصل الأول

### نماذج لبعض أعمال فنانين معاصرين

### منفذة بخامة الأكريليك



يتعرض الباحث في هذا الفصل لبعض الأعمال المنفذة بخامة الأكريليك لفنانين معاصرين من الناحية التقنية والتشكيلية لكل عمل بدءاً بالتعامل مع الشرائح أو الكتل خلال الخامة ووصولاً إلي الشكل النهائي للعمل.

ويتضح لنا من خلال هذا العرض الأساليب والأدوات والمعدات التي قام باستخدامها الفنان للوصول إلي ما يأمله في عمله المنفذ خلال خامّة الأكريليك الشفاف مرفقاً بالصور التي يتضح منها فكرة تنفيذ العمل والشكل النهائي.

## العمل الأول

شكل ٥٣ ( أ - ب )

الفنان : - تاكا ياسو Taka Yasu

الأبعاد : - ٦٢ x ٦٢ x ٦٢ سم

نفذ الفنان العمل من خلال خمسين شريحة من الأكريليك الشفاف متراسة على هيئة مكعب، مكونة شكل دائرة مجسمة داخل فراغ المكعب.

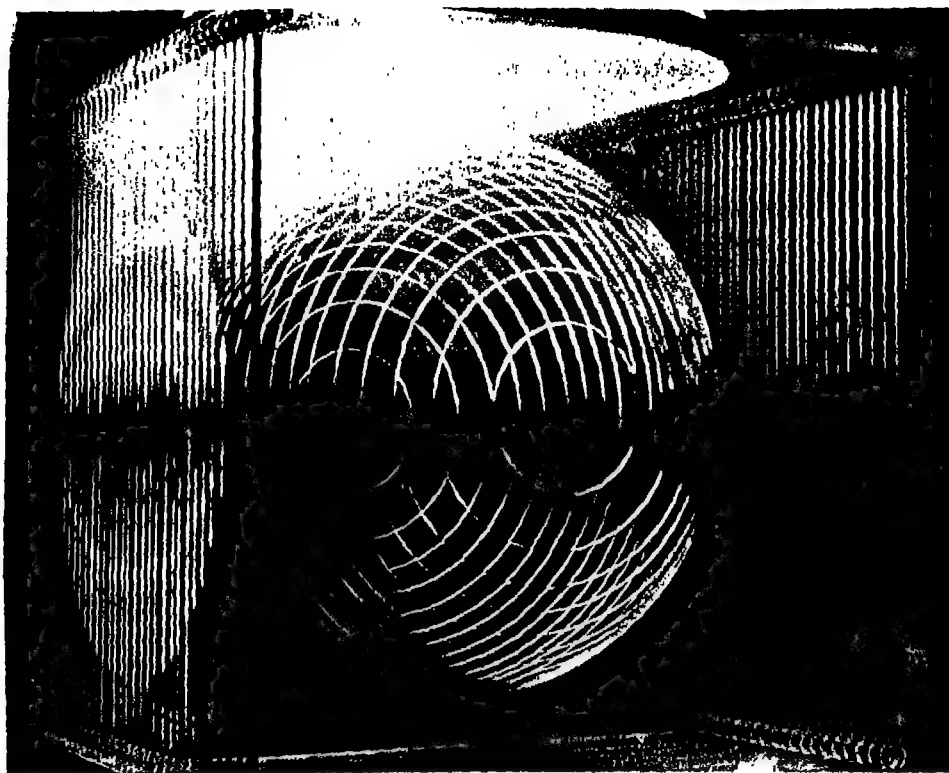
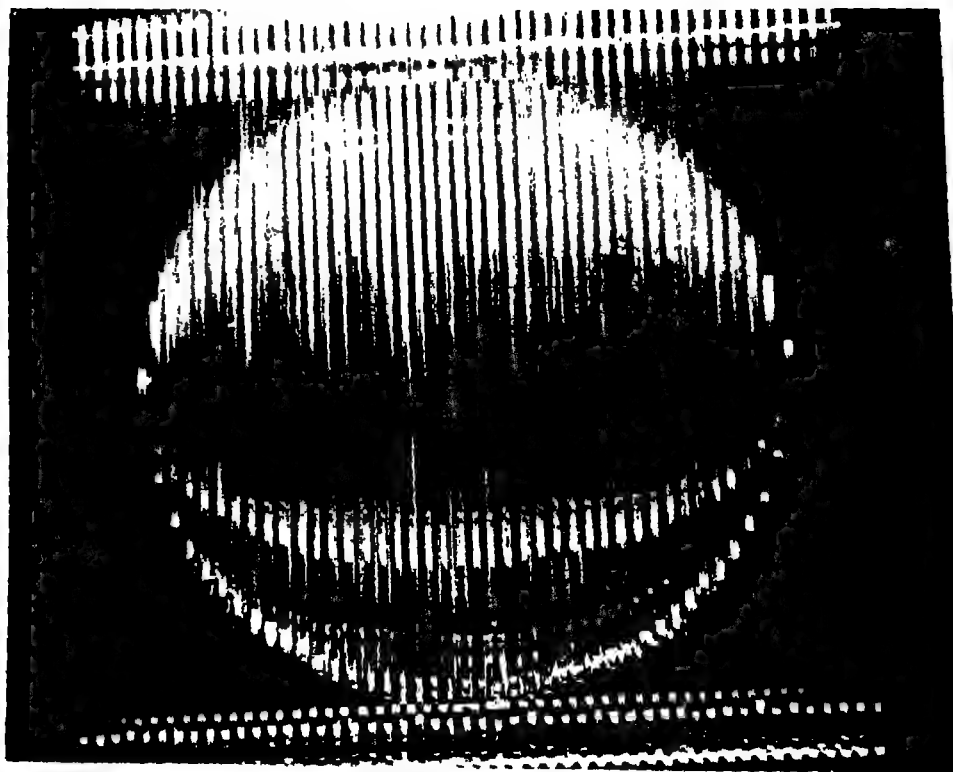
## خطوات التشكيل :

١- قام الفنان بقطع شرائح أكريليك على شكل مربع بالأبعاد السابق ذكرها، تبع ذلك تسوية الحواف.

٢- رسمت دوائر متدرجة الأقطار على الغلاف المغطى للوح الأكريليك، ثم فرغت تلك الدوائر بكل شريحة.

٣- ثبتت الشرائح على قاعدة العمل وفقاً لترتيب أقطار الدوائر من الأصغر إلى الأكبر، وصولاً إلى نصف المكعب وبالعكس في ترتيبه لتدرج تراص الشرائح في النصف الآخر للمكعب مع ترك الفراغ الملائم بين كل شريحة وأخرى بما يتوافق مع رؤية الفنان.





شكل (٥٣) - دائرة في الفراغ - الفنان تاكاييسو





## العمل الثانى

شكل (٥٤)

الفنان : فرانسيسكو سوبرينو Francisco Sobrino

اسم العمل : تحول أو تغير غير مستقر.

إبعاد العمل : ٨٠ سم طول × ٨٠ سم عرض × ٢٧ سم عمق

اعتمد العمل أساساً على نظام هندسي بسيط، فقد قام الفنان بتقسيم هيكل العمل إلى ستة وثلاثون وحدة مربعة بحيث أصبح في كل ضلع ٦ مربعات

## خطوات التشكيل

- ١- قام الفنان بقطع الشرائح الشفافة ثم قام بحز خط غائر ليصل غالباً إلى نصف سبمك الشريحة وذلك لاتمام عملية التثني عند موضع الحز.
- ٢- قام الفنان بتفريغ دائرتين على جانبي الشريحة.
- ٣- قام الفنان بعمل تسخين موضعي عند موقع الحز تلى ذلك عملية تثني الشريحة بحسب الشكل المطلوب.
- ٤- قام الفنان بتجميع الشرائح ولصقها وفقاً مع ما يتراءى من أوضاع جمالية.



- ١٦٣ -



شكل (٥٤) تحول أو تغير غير مستقر - للفنان سوبرينو



## العمل الثالث

### شكل رقم (٥٥)

الفنان :- نيوكلاس روكس Niokles Roukes

اسم العمل :- " Neos "

أبعاد العمل :- ٢٢,٥ سم × ٦٠,٥ سم

في هذا العمل قام الفنان بقطع وتشكيل لوح أكريليك مسطح مع مجموعة صغيرة من قضبان الأكريليك وذلك لتشكيل قطعة نحت ذات ثلاثة أبعاد أطلق عليها اسم " Neos ". ويقول روكس " عند قيامي بعمل " Neos " أن هدفي الأساسي هو عمل نحت يكون قادراً على تلقي ونقل الإضاءة البيئية أو المصممة.

ويوضح روكس في هذا العمل إمكانية الخامة من حيث القطع والثني وإبراز أهمية الشفافية في التكوين، وعلاقة كل من الشفافية والضوء مع الفراغ حيث يتناسبان تناسباً طردياً معاً.

### طريقة التشكيل

١- رسم التصميم المطلوب تنفيذه بنفس نسبة العمل في الطبيعة شكل (٥٥- أ)

٢- قص الفنان النموذج الورقي ثم قام بتثبيته على لوح من الأكريليك بسمك ٠,٤٨ سم باستخدام لاصق من المطاط، وذلك بعد نزع الغطاء الورقي الحافظ من على سطح الأكريليك شكل (٥٥- ب).

٣- قام الفنان باستخدام منشار كهربائي؛ متردد مما يسهل قطع الخامة بسهولة بعد أن استخدم الصابون لتسهيل حركة السلاح المعدني المثبت في المنشار، ثم قام الفنان بتسوية حواف الأكريليك بعد قطعها باستخدام قطع من أوراق الكربوراند شكل (٥٥- ج).



٤- بعد ذلك تم نزع النموذج الواقى، ثم جهاز الشريحة للتسخين باستخدام فرن كهربائى مثبت عند درجة ١٤٩°م شكل (٥٥-د).

٥- قام الفنان باستخدام قفاز ليتمكن من نزع البلاستيك من الفرن ثم تشكيكه إلى الشكل المطلوب. وبعد تكوين الشكل قام مساعد الفنان بتبريد وتجميد البلاستيك بإمرار قطعة من الأسفنج المبلل على سطوح البلاستيك بينما ظل الفنان ممسكا بالشكل حتى لا يتحرك قبل أن يجمد شكل (٥٥-هـ).

٦- جهاز الفنان بعض العصى المستقيمة من الأكريليك سخنت أطرافها على مصباح كهربائى، ثم ضغطت أطرافها حتى صارت الحواف مبطة على شكل شبة دائري وذلك باستخدام ماسك مدبب، وهذه العصى سوف توصل بباقي شكل الأجزاء (٥٥-و) ثم ثبتت على القاعدة الخشبية الخاصة بالعمل.

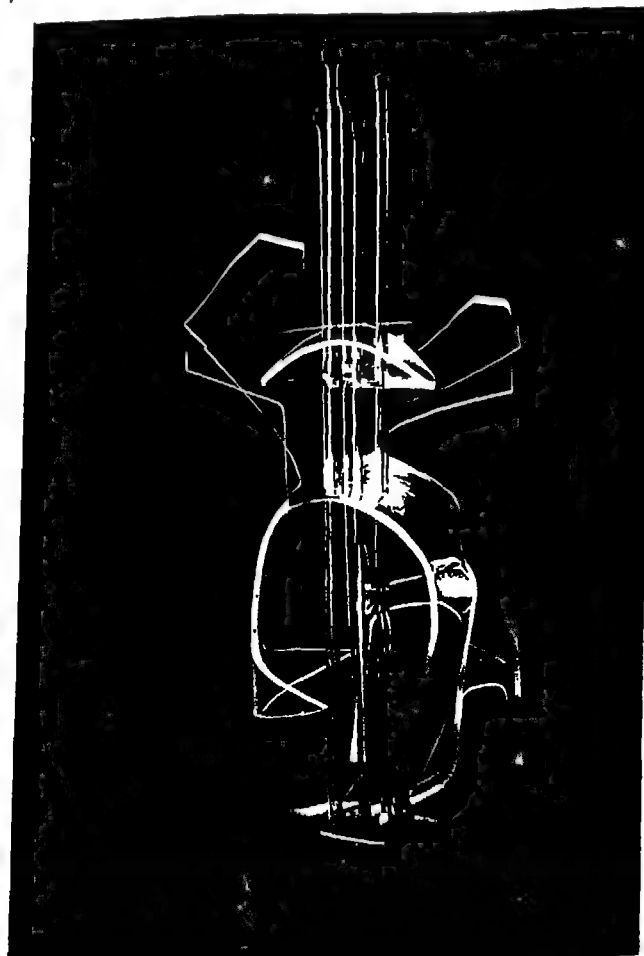
٧- في هذه الخطوة نتقّب الفتحات في البلاستيك لتثبيت العصى الأكريلكية، واستخدام لذلك ثاقب كهربائى ذو سرعات عالية، ثبتت به (قاطع معدنى) من المعدن، وكان قطر الفتحات ١,٦ سم شكل (٥٥-ز).

٨- قام الفنان بتركيب أجزاء العمل باستخدام ثنائى كلوريد الأثيلين، ثم غطى العمل بعد ذلك بطبقة من الشمع ضد الكهرباء الأستاتيكية، تلي ذلك عملية التلميع لإزالة الأتربة وتثبت الشكل على القاعدة شكل (٥٥-ح) (١٥).





- ١٦٦ -

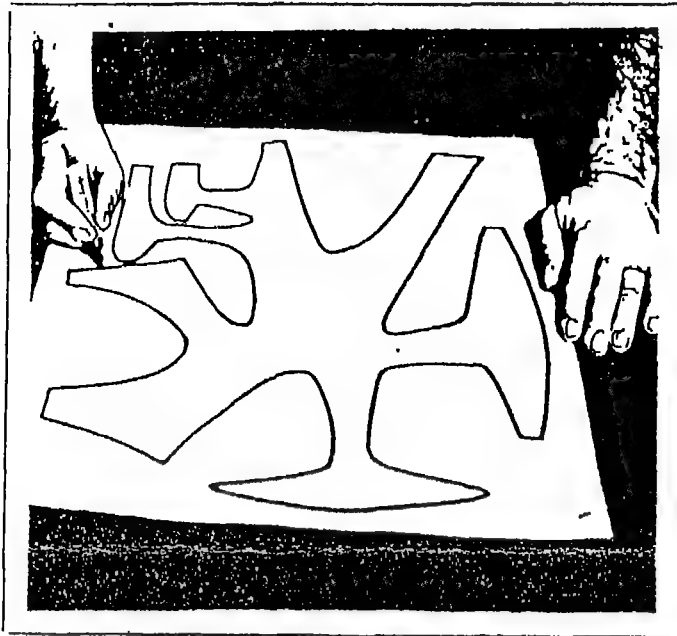


شكل (٥٥) NEOS - تشكيل حراري لألواح الأكريليك

للفنان نيوكلاس روكس



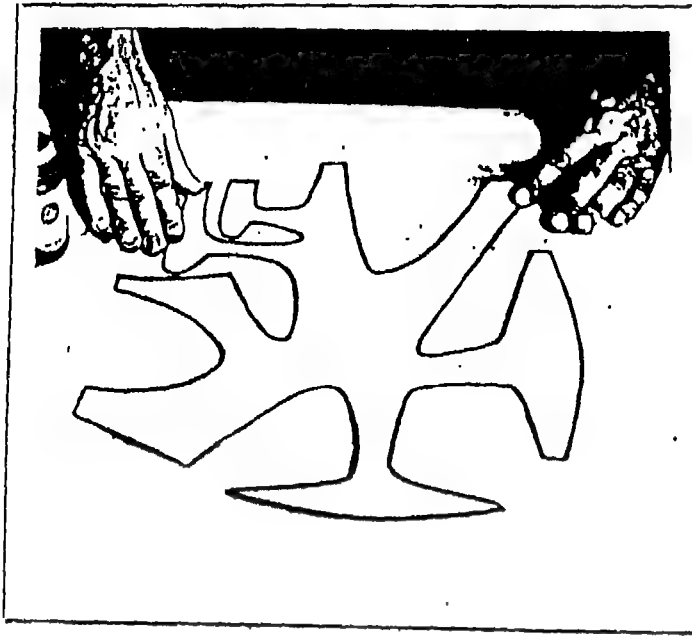
-١٦٧-



شكل (٥٥-أ) التصميم النهائي للعمل بعد تكبيره



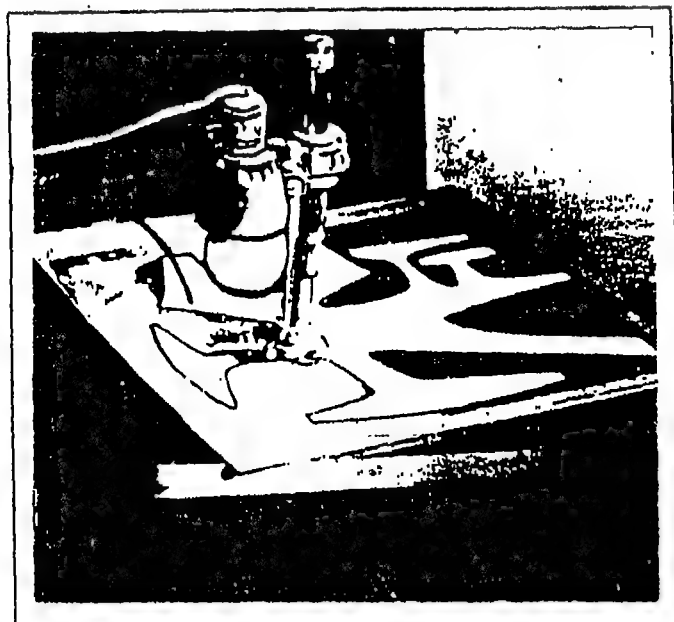
-١٦٨-



شكل (٥٥-ب) لصق النموذج على لوح الأكريليك



-١٦٩-

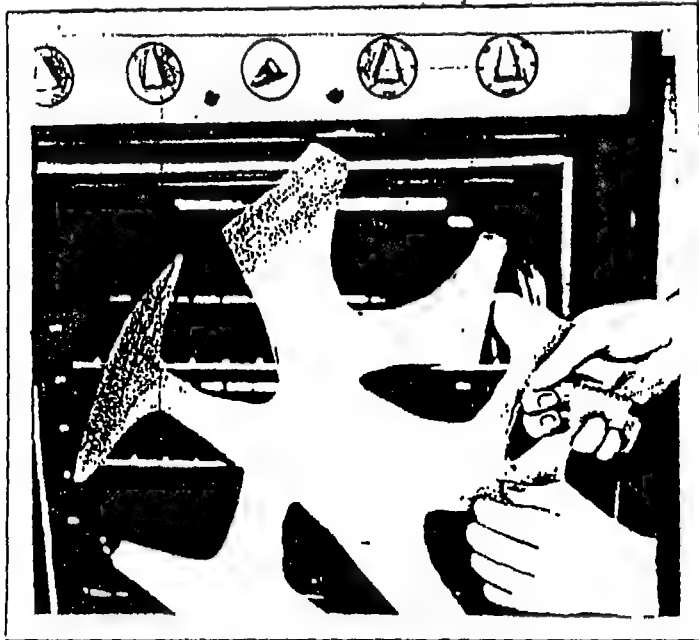


شكل (٥٥-ج) نشر حواف التصميم





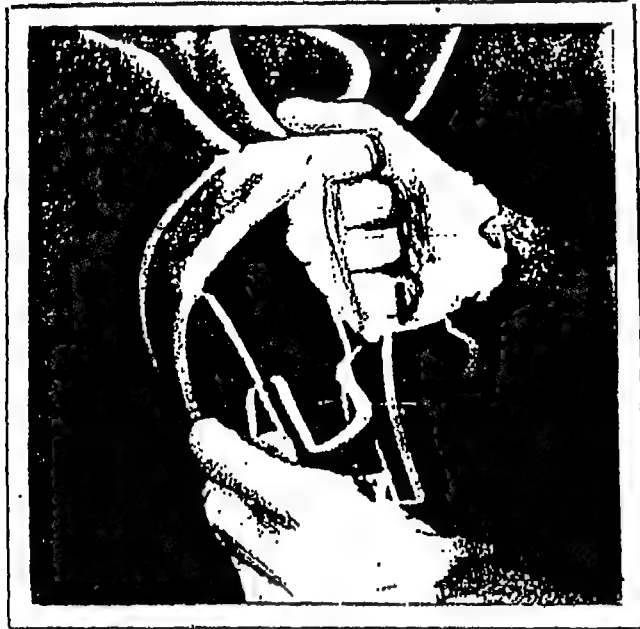
-١٧٠-



شكل (٥٥-د) التسخين في فرن كهربى



-١٧١-



شكل (٥٥-هـ) التشكيل بالشكل المطلوب



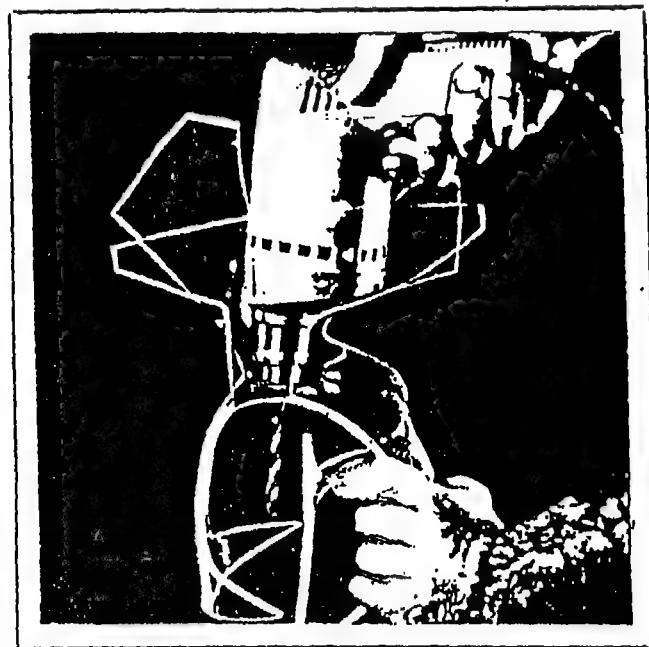
-١٧٢-



شكل (٥٥-و) ضغط أطراف العصي



-١٧٣-

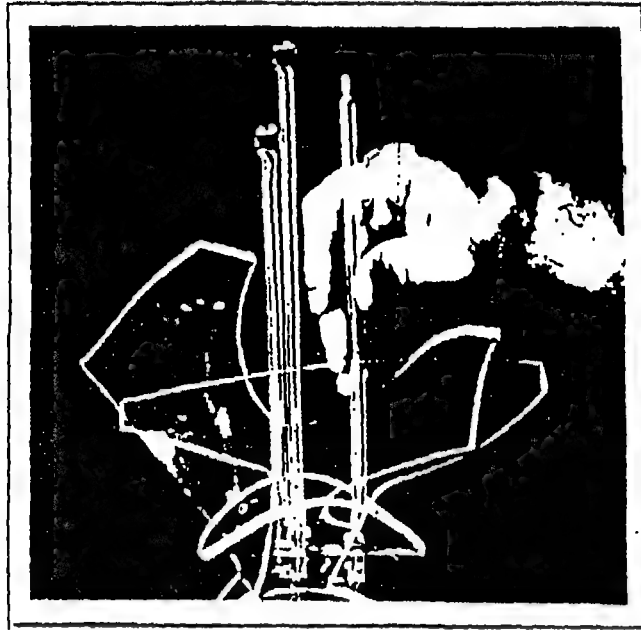


شكل (٥٥-ز) عملية الثقب





-١٧٤-



شكل (٥٥-ح) تركيب العمل



## العمل الرابع

شكل (٥٦)

اسم العمل :- الحرم الخاص بالضوء Light Sanctuary

الفنان :- Jacques Schier

المقاس :- ارتفاع ٥٣,٣ سم

## شرح العمل:

عبارة عن ألواح سميكة من بلاستيك الأكريليك مجمعة معا بواسطة لاصق Ps-30، ونسبة الراتنج المحفز هي واحد جزء محفز فوق أكسيد البنزويل Benzoyl Peroxide Catalyst إلى تسعة عشر جزء Ps - 30 وقد استخدم الفنان أزميل نحت الرخام في التعامل مع الكتلة الضخمة من الأكريليك الشفاف. ثم بدأ بعد ذلك في تذهيب سطح العمل بواسطة مثقاب يدور حول محوره من الفحم Carbide مع استخدام ورق كشط حبيبي من أرقام ٣٥ إلى ٦٠٠، ثم تم صقل السطح حتى أصبح أملسا وإليها من الخدوش وذلك لإضفاء لمعة نهائية.



-١٧٦-



شكل (٥٦) الحرم الخاص للضوء للفنان جاكوشير



## الفصل الثاني

### تجارب عملية للباحث





- ١٧٨ -

ما يقدمه الباحث من تجارب نحتية لا يهدف فيها إلى عرض أسلوب ذاتي في التشكيل، بقدر ما يعرض نماذج ذات أبعاد تقنية متنوعة يحاول بها إجراء بعض التجارب، لتوضيح العديد من إمكانيات هذه الخامة للوقوف بنفسه على هذه الخامة عمليا.

- إمكانية التشكيل بطريقة تفريغ الهواء
- التشكيل الحراري للأواح الأكريليك
- صب بوليمر الأكريليك
- التشكيل بالضوء الملون
- تجارب متنوعة في النحت البارز
- عمليات اللصق والتجميع
- أساليب الإنهاء والتشطيب..



## التجربة الأولى

شكل (٥٧)

اسم العمل : الحصان

الارتفاع : ١٦٠ سم

العرض : ١٢٠ سم

طريقة التشكيل : التشكيل الحراري بتفريغ الهواء.

مراحل العمل : هذه التجربة محاولة للباحث للاستفادة من إمكانية تطويع خامة الأكريليك لتشكيل عمل نحتي شفاف باستخدام جهاز تفريغ الهواء.\*

١- تم البدء في العمل بعده مراحل بدأت المرحلة الأولى بإعداد نموذج منفذ في خامة الجبس لرأس حصان بالحجم الطبيعي شكل ٥٧ (١-٢) حيث قسم الشكل إلى نصفين متطابقين بقطاع طولي مستوى باستخدام ميزان الخيط (شكل ٥٧-٣) وتم تقسيم كل نصف منهما إلى ثلاثة أجزاء مستعرضة باستخدام منشار يدوي حيث يكون كل جزء في حدود أبعاد الإطار المعدني لجهاز تفريغ الهواء (شكل ٥٧-٤).\*\*

ونتيجة لعدم انتظام الحواف أثناء عملية النشر، تمت معالجة هذه الحواف على سطح منضده. مستوية معزولة بالشمع باستخدام الجبس، حيث روعي في هذه المرحلة ضبط حواف القطع لضمان تطابق الأجزاء عند عملية التجميع، حيث يتسبب عدم انتظام الحواف في انكماش لوح الأكريليك عند الحواف أثناء عملية تفريغ الهواء (شكل ٥٧-٥).

٢- تم البدء في عملية التقب باستخدام المثقاب الكهربائي ببِنْطه سمك ٢ مم في الأماكن ذات العمق والأجزاء الغائرة في منطقة الأنف والفم والحزوز العميقة في منطقة الشعر، وذلك لضمان تطبيع لوح الأكريليك في هذه التفاصيل على العمل النحني (شكل ٥٧-٦).

\* سبق شرح الجهاز في الباب الثاني

\*\* الأجهزة المتوفرة في الورش لا يتعدى أبعادها ٦٠×٥٠ سم



- ١٨٠ -



( ٥٧ ) حصان شفاف





شکل (۷۵-۲) منظر أمامی



شکل (۷۵-۱) منظر جانبی





-١٨٢-



شكل (٣-٧٥) تقسيم الحصان طولياً إلى جزئين





شكل (٧٥-٤) تقسيم الحصان عرضياً إلى ثلاثة أجزاء



-١٨٤-



شكل (٧٥-٥) تهذيب الحواف



-١٨٥-



شكل (٦-٧٥) ثقب فتحات التهوية





وانتقل العمل في المرحلة الثانية إلى عمل بعض الثقوب في اللوح الخشبي المتحرك الخاص بجهاز تفريغ الهواء (شكل ٥٧-٧)، ووضع النموذج الجبس على اللوح الخشبي في المكان المحدد مع عمل ثقوب محيطية بحدود الشكل (شكل ٥٧-٨).

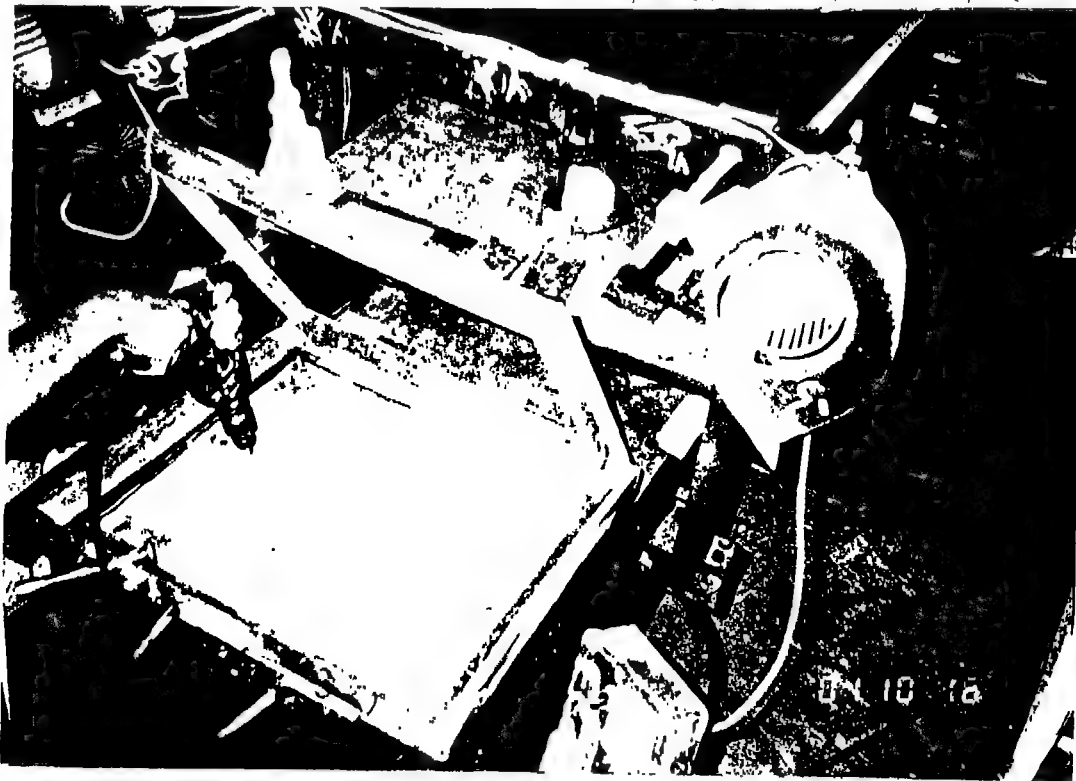
ومن خلال الفحص والمقارنة باستخدام أكثر من سمك لمجموعة ألواح تتراوح ما بين ٥,٠ و ٢ م. وبعد إجراء بعض التجارب العملية تم الوصول إلى أفضل نتيجة باستخدام لوح سمكه ١ م لضمان إخراج العمل بكامل تفاصيله، حيث إنه كلما زاد سمك اللوح المستخدم كلما تسبب ذلك في عدم دقة ووضوح التفاصيل.

٣- تم تحريك لوح الأكريليك إلى وحده التسخين حتى يصل إلى درجة اللدونة، ثم أعيد مزه أخرى فوق النموذج الجبس (شكل ٥٧-٩)، حيث تم تشغيل وحده تفريغ الهواء مع رفع المنضدة الخشبية من أسفل إلى أعلى في اتجاه لوح الأكريليك، حتى تم تطبيع اللوح على النموذج (شكل ٥٧-١٠). وباستخدام قطعة قماش مع الضغط الخفيف على اللوح المشكل لضمان التطبيع الكامل للوح بكل التفاصيل الغائرة (شكل ٥٧-١١). وبعد تمام عملية التبريد، رفع اللوح المشكل عن سطح النموذج (شكل ٥٧-١٢).

٤- وبنفس الخطوات السابقة تم التشكيل باقي الأجزاء، وبعد التأكد من سلامتها تم استخدام قطعة قماش من القطن لإزالة أى أتربة أو عوالق ملتصقة، ثم لصقت أجزاء الشكل وذلك بتثبيت القطع ولصقها حتى تمام لصق الشكل بأكمله باستخدام لاصق بلاستيك شفاف بوضع كمية مناسبة منه على حواف القطع مع تنظيف مادة اللصق الزائدة نتيجة ضغط الأجزاء مع بعضها وإزالتها قبل جفافها. وقد روعي تهذيب الأطراف الداخلية قبل عملية اللصق بين القطع، وعند الانتهاء من عملية التجميع تم تهذيب الأجزاء الزائدة الخارجة عن حدود الشكل. باستخدام المقص (شكل ٥٧-١٣) وبهذه الطريقة تم تجميع النصف الأيمن للشكل ومرورا بنفس المراحل جمع النصف الأيسر.

٥- عملية تثبيت الشكل على القاعدة، وقد حاول الباحث في هذه المرحلة إيجاد نوع من الحوار والتناغم بين نصفي الشكل الملتصقان على اللوح، وبين اللوح نفسه، محاولة إيجاد أكثر من دور للوح سواء كقاعدة تحمل العمل أو كجزء مكمل لا ينفصل عن العمل يحمل بعض صفاته، فاستخدم لوح الأكريليك بمقاس ١٢٠ × ١٦٠ سم وسمك ١٠ مم حيث بدأت المرحلة برسم الخط الخارجي لنصفي الشكل الأيمن والأيسر على جانبي اللوح

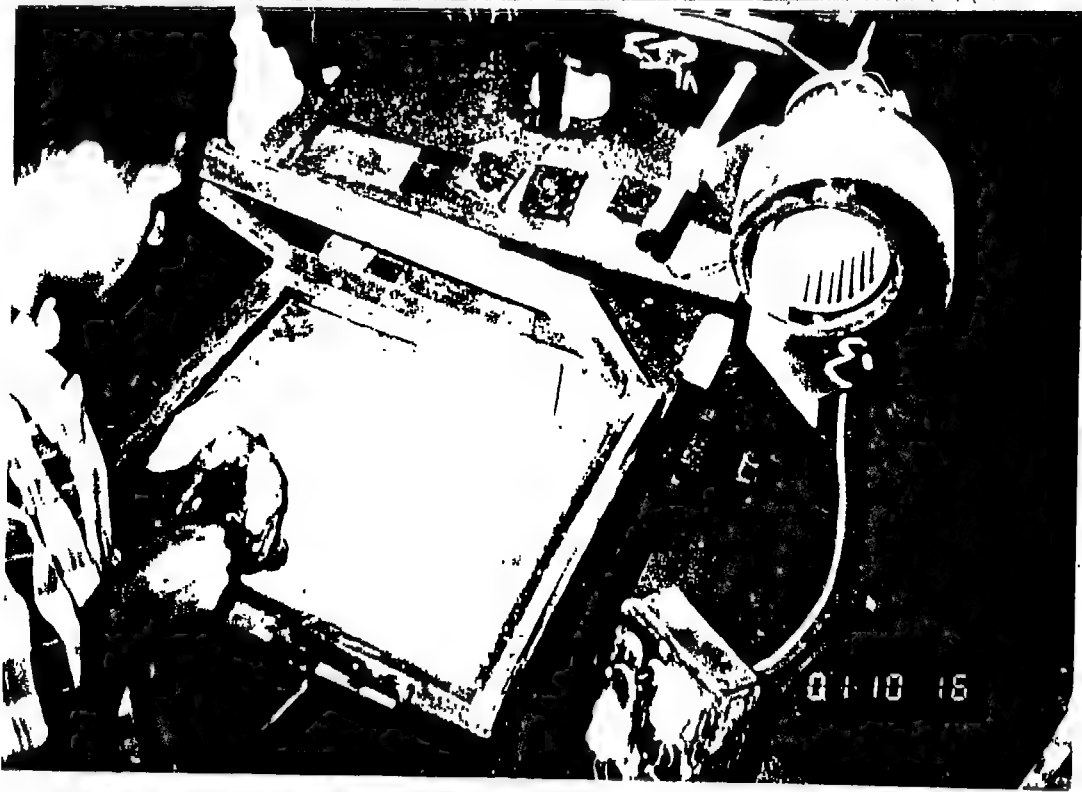




شكل (٧-٧٥) الثقب في اللوح الخشبي المتحرك



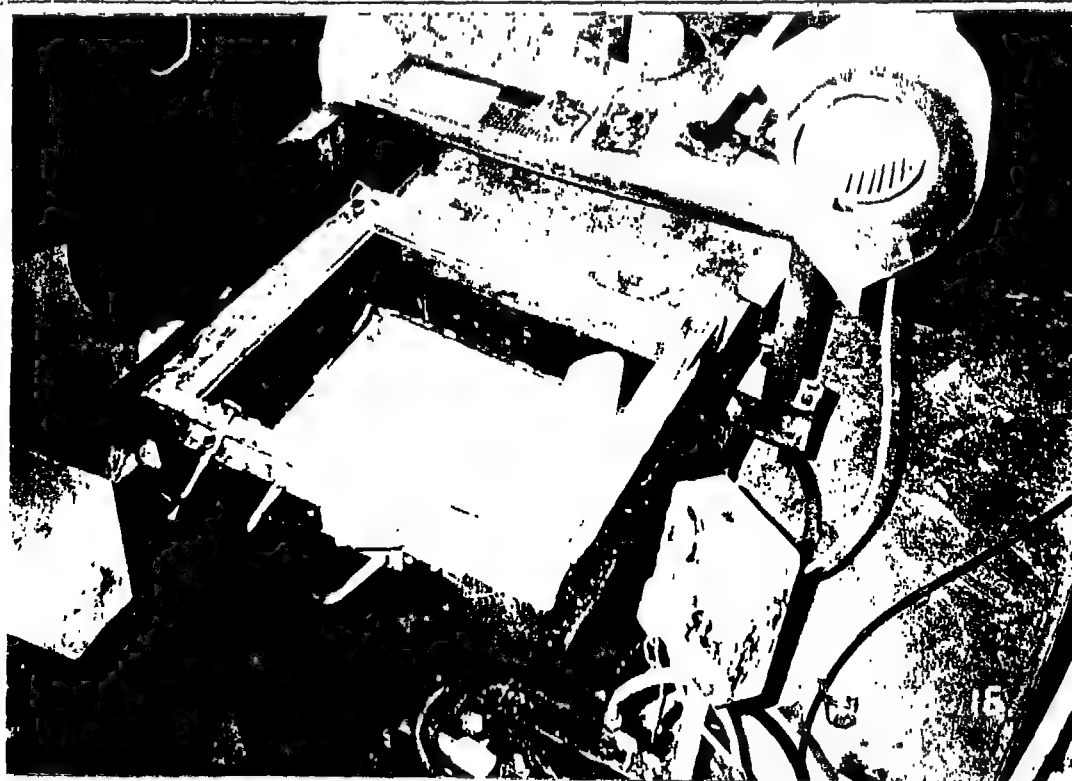
-١٨٨-



شكل (٧٥-٨) عمل ثقوب محيطه للنموذج الجبسي



- ١٨٩ -

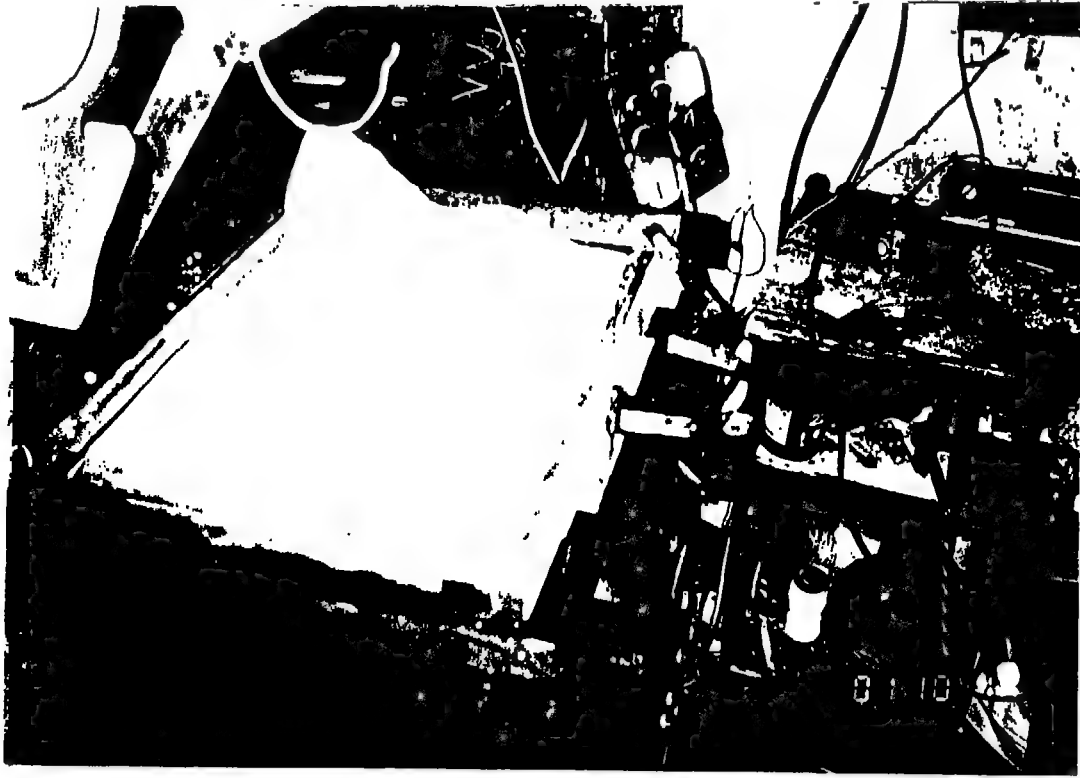


شكل (٧٥-٩) تحريك اللوح الخشبي في اتجاه وحدة التسخين





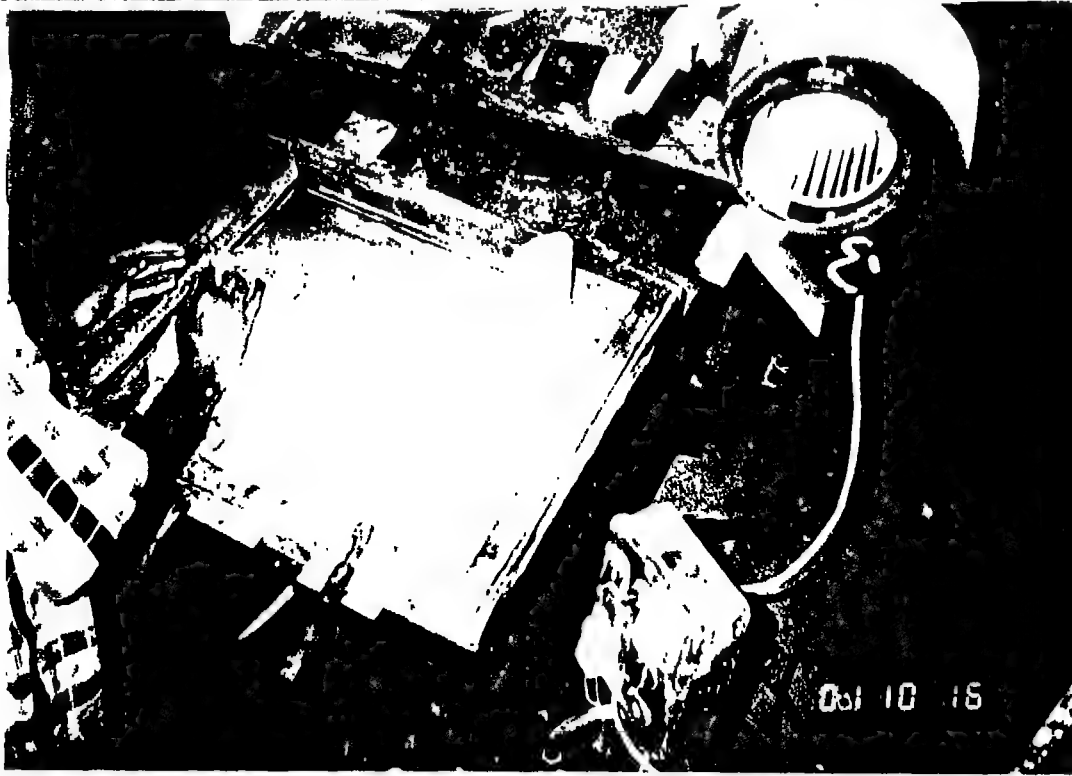
- ١٩٠ -



شكل (٧٥-١٠) رفع اللوح الخشبي وتطبيعه على لوح الأكريليك



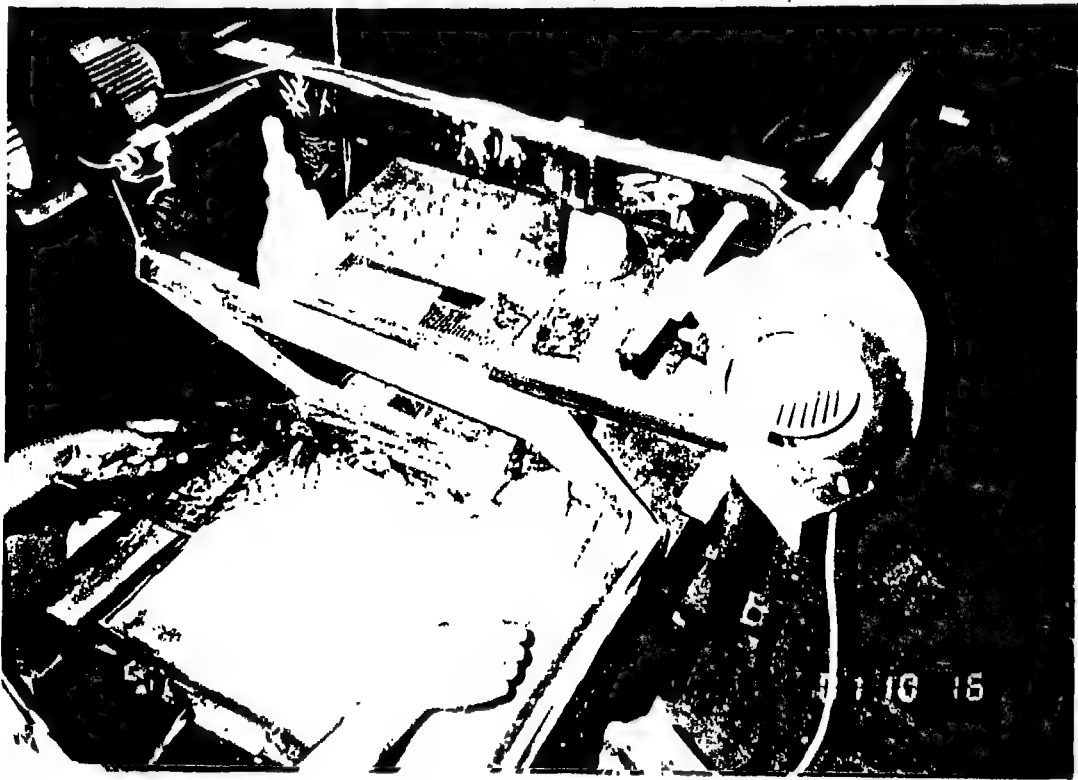
-١٩١-



شكل (٧٥-١١) ضغط خفيف على اللوح لضمان التطبيع الكامل



-١٩٢-



شكل (١٢-٧٥) رفع اللوح من على النموذج



- ١٩٣ -



شكل (١٣٥) تهذيب الأجزاء الزائدة  
٥٧



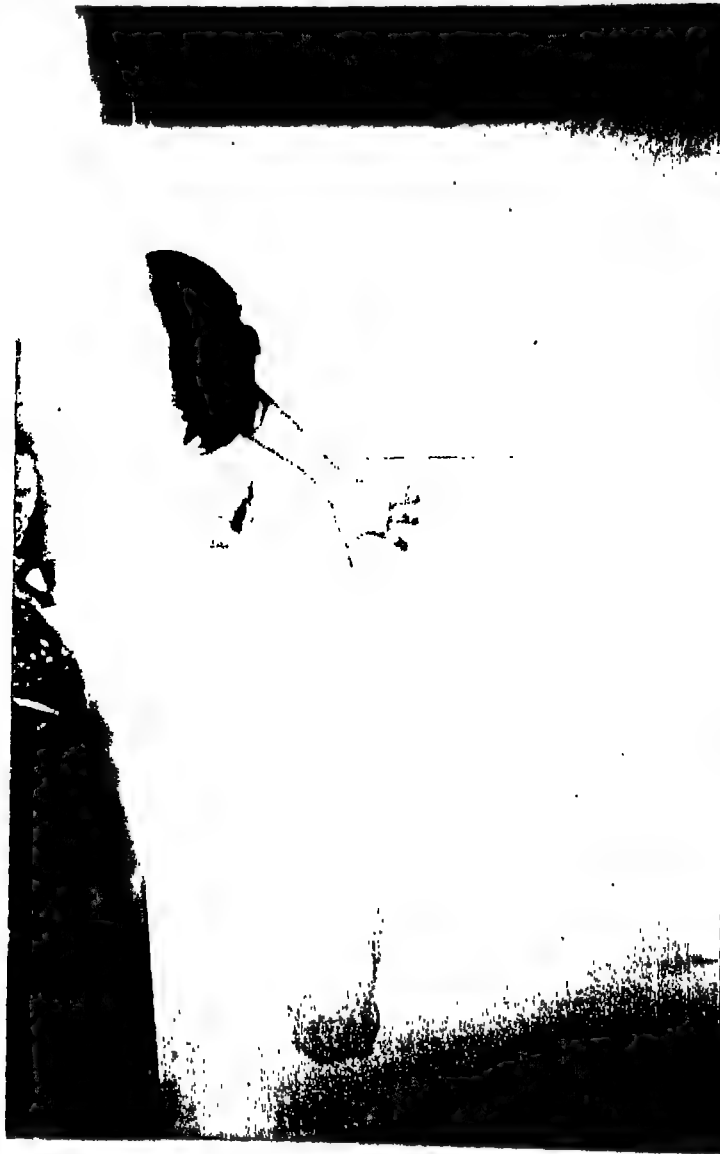


بإستخدام قلم دوكو وذلك لتحديد مكان لصق الشكل (شكل ٥٧-١٤). ثم تم إزالة الغلاف البلاستيك المحافظ على لوح الأكريليك من منتصف اللوح مع عمل حز بطول اللوح في منطقة الثني. وتم استخدام لهب بوري لتسخين مكان الحز تسخيناً منتظماً لتجنب ظهور الفقاعات الناتجة عن التسخين الزائد والتي بدورها تغير من شفافية اللوح في هذا الجزء (شكل ٥٧-١٥). وبعد تمام عملية التسخين ولدونه اللوح في هذا الجزء تم ثنيه عند منطقة الحز (شكل ٥٧-١٦). وقد روعي السرعة في تبريد مكان الثني بالماء للحفاظ على الشكل المطلوب (شكل ٥٧-١٧). واستكمالاً لعملية الرسم المحدد لشكل الحصان، تم رسم بعض الخطوط الممثلة لشعر الحصان، ثم رسم بعض الخطوط الممثلة لشعر الحصان مباشرة على اللوح (شكل ٥٧-١٨). وتمت عملية التفريغ لمنطقة الشعر باستخدام منشار كهربائي (شكل ٥٧-١٩).

٦- بعد الانتهاء من عملية تجميع كلا من نصفي الحصان الأيمن والأيسر وتجهيز لوح الأكريليك الحامل للعمل، وبعد إزالة طبقتي البلاستيك من على سطح اللوح، تم لصق النصفين بلاصق شفاف، وعمل ثقبين نافذين في الشكل واللوح عند منطقة الرأس والرقبة، حيث وضع في كل منهما قضيب من النحاس بسمك ١٢ مم، وينتهي بصامولة قلاووظ عند طرفيه. وقد روعي اختيار خامة النحاس لما تضيفه الخامة من إحساس وتوافق لوني مع شفافية خامة الأكريليك، وضماناً لعملية تثبيت ناجحة حتى وصل الشكل إلى مرحلته النهائية.



-١٩٥-



شكل (٧٥-١٤) تحديد مكان اللصق



- ١٩٦ -



شكل (٧٥-١٥) استخدام لهب بوري لتسخين موضع الثني



-١٩٧-



شكل (٧٥-١٦) ثنى اللوح عند منطقة الحز





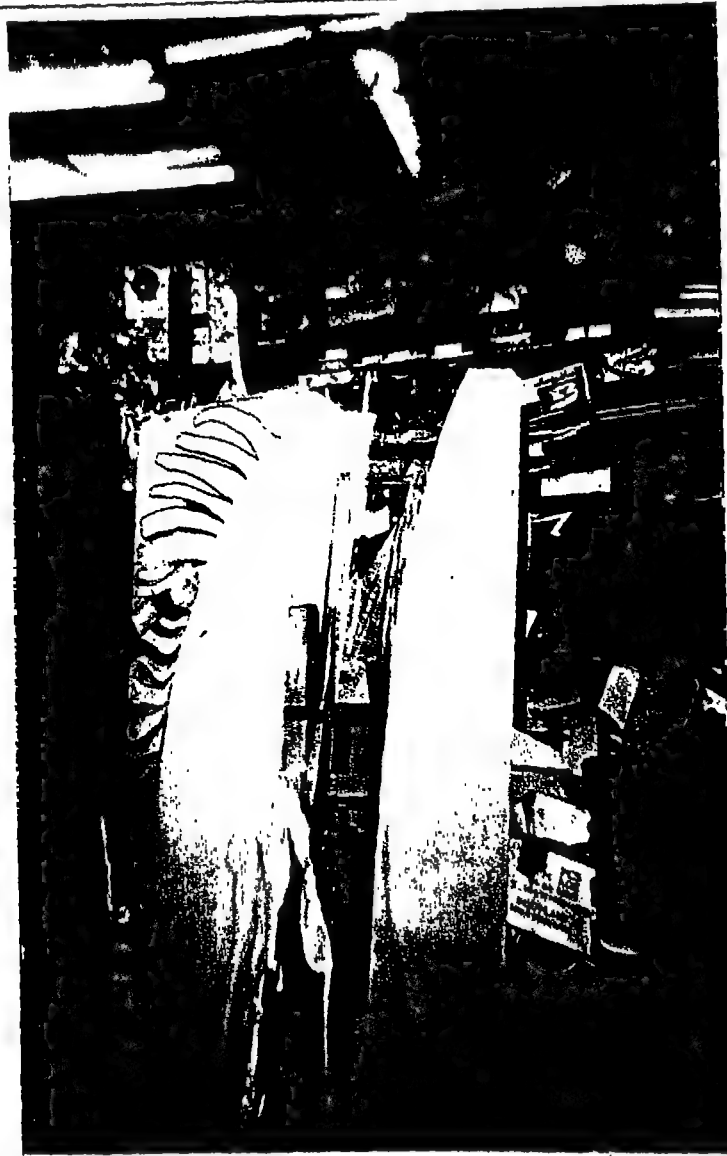
-١٩٨-



شكل (٧٥-١٧) تبريد بالماء



-١٩٩-



شكل (٧٥-١٨) رسم خطوط على اللوح





شکل (۷۵-۱۹) التفریغ باستخدام منشار کهری



## التجربة الثانية :

شكل (٥٨)

اسم العمل : - شكل بيضي

ارتفاع العمل : - ٨٠ سم

طريقة التشكيل : - بناء كتلة مصمتة ( طريقة التصفيح<sup>(١)</sup> ) عن طريق تجميع ألواح الأكريليك وملء الفراغ المنفذ داخل الكتلة بسائل يحوى جسم متحرك من الأكريليك ( جنين ).

تعتمد التجربة على بناء كتلة شفافة مقاربة للشكل البيضي، تعكس الإحساس بالضوء حسب طبيعة المكان الموجودة فيه، وتنبض ضوءاً داخلياً ملوناً يبعث فيها الحركة والحياة في محاولة للتمثيل الحقيقي للشكل البيضي والجنين. ويأتي الإحساس بالبناء من خلال استخدام طريقة التصفيح في التشكيل، وذلك بلصق الدوائر المستديرة غير المنتظمة السمك والقطر فوق بعضها البعض، ونشعر بالإحساس بالنبض الداخلي من خلال وجود سائل يتحرك بداخله كتلة هلامية الشكل تحمل اللون الأصفر، ويحتوي على مجموعة من الخيوط الأكريليكية الحمراء المتعرجة لتعطي الإحساس بالشعيرات الدموية. وغلبه اللون الأصفر في هذا الجزء من العمل مع شفافية الأجزاء الأخرى، يعكس ضوءاً ملوناً، دون الحاجة لتسليط مصدر ضوئي مباشر. ونظراً لثقل الكتلة وكبر حجمها، قام الباحث بتنفيذها على ثلاثة أجزاء متراكبة فوق بعضها، وذلك لسهولة عمليات التشكيل والصقل والتجميع (شكل ٥٨-١).

## مراحل العمل

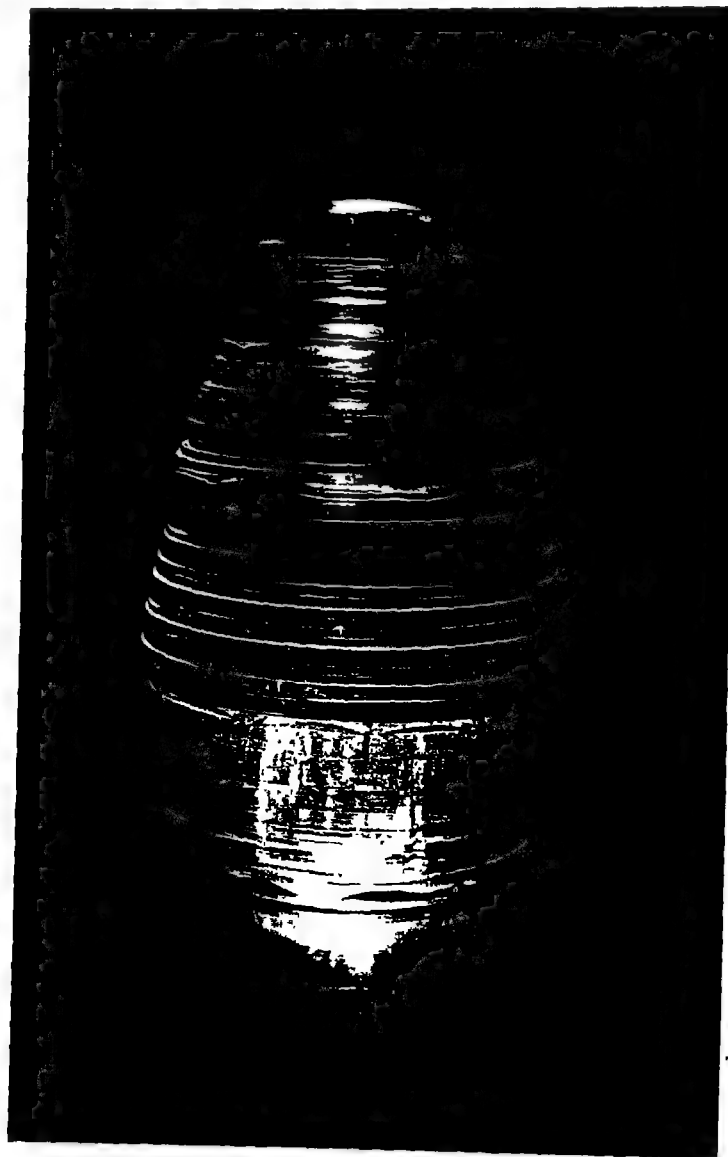
- ١- تم البدء في العمل برسم مجموعة من الدوائر متدرجة الأقطار من ١٥ سم إلى ٥٠ سم على لوح أكريليك، وذلك قبل إزالة الغلاف البلاستيكي المغطى به لوح الأكريليك، مع نشر الدوائر باستخدام منشار المنضدة الدائري (شكل ٥٨-٢)
- ٢- قام الباحث بترتيب الدوائر على ثلاث مجموعات، تحوى المجموعة الأولى (الجزء السفلي من الشكل البيضي) دوائر أقطارها من ١٥ : ٥٠ سم، وباستخدام المنقاب الكهربائي لعمل تفريغ وسط كل دائرة بقطر ١٠ سم، وذلك في الدوائر ذات الأقطار من ٢٠ إلى ٤٥ بغرض إيجاد فراغ أسطواني الشكل بقطر ١٠ سم وارتفاع ١٥ سم عند التجميع (شكل ٥٨-٣).

(١) تم التعرض لشرح طريقة التصفيح بالباب الثاني





-۲۰۲-



شکل (۵۸) شکل بیضی

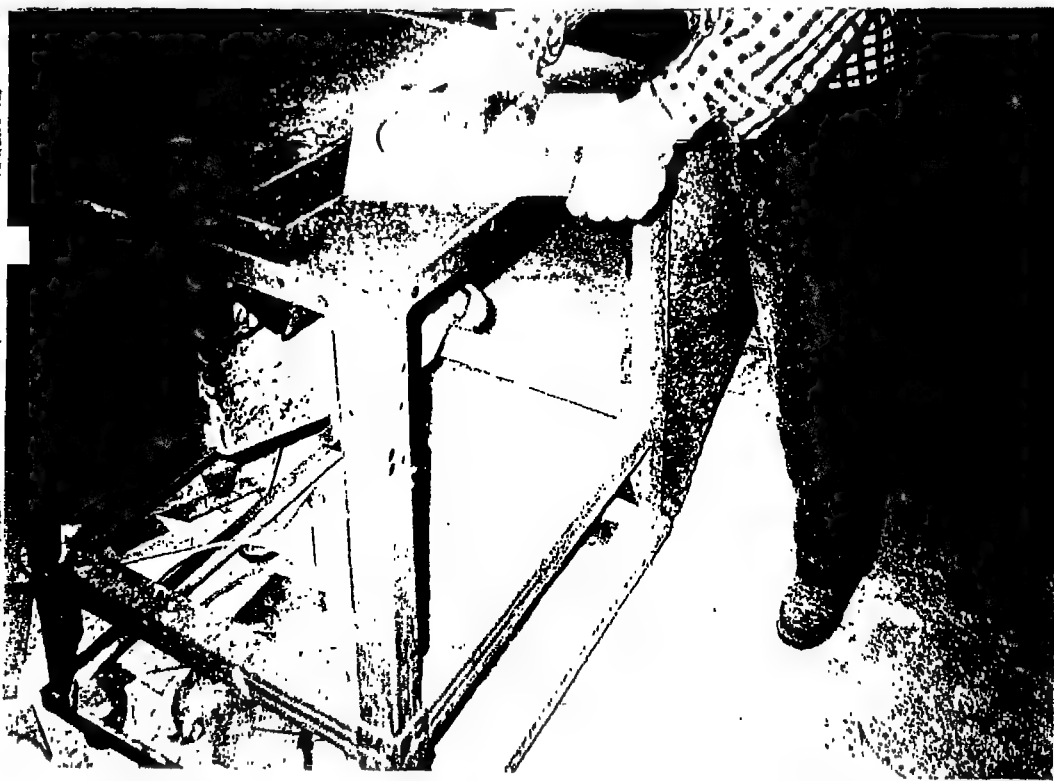


- ٢٠٣ -



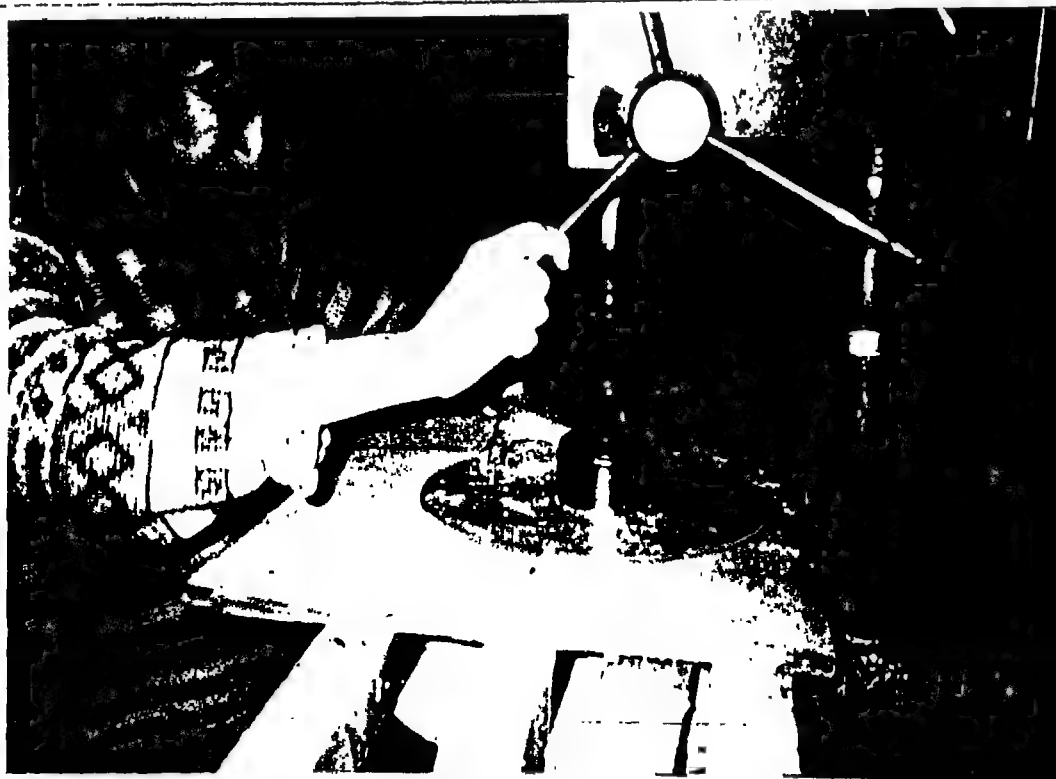
شكل (١-٥٨) تقسيم الشكل البيضى





شكل (٢-٥٨) نشر الدوائر باستخدام منشار المنضدة الدائري





شكل (٣-٥٨) عمل تفريغ دائري باستخدام المتقارب الكهربى





٣- وبعد الانتهاء من عملية تفريغ الدوائر تم إزالة الغلاف البلاستيك من سطح الدوائر لإعداد لعملية اللصق، ثم تم البدء بلصق الدوائر غير المفرغة لتجهيز قاعدة الشكل البيضي، تبع ذلك لصق الدوائر المفرغة، وذلك بلصقها حسب موقعها بوضع كمية مناسبة من المذيب (شكل ٥٨-٤) مع مراعاة تبليل الأطراف بمذيب الكلوروفورم لضمان التوزيع المتجانس على أسطح الدوائر. مع الأخذ في الاعتبار السرعة أثناء اللصق حيث أن مادة الكلوروفورم لا تستغرق أكثر من ثلاث ثوان لتجف، ومراعاة تطابق الدوائر بشكل كامل دون حدوث أى فقايع هواء ناتجة عن حركة الدوائر بعد لصقها (شكل ٥٨-٥).

٤- باستخدام أدوات نحت الخشب، تم أحداث ملمس غير منتظم لحواف الدوائر المفرغة داخل الكتلة المجمعة (شكل ٥٨-٦).

٥- بعد الانتهاء من تجميع الجزء الأول بدأت مرحلة الإنهاء للسطح الخارجي باستخدام ماكينة الجليخ المثبتة على منضده بتحريك الشكل بانتظام (شكل ٥٨-٧). وبعد الانتهاء من عملية الجليخ، وضعت كتلة كروية الشكل من الأكريليك الأصفر تحوى بعض الثقوب مثبت فيها خيوط حلزونية حمراء بسمك ٢ مم من الأكريليك ثم تمت عملية حقن الفراغ بزيت أصفر ليعطى ضوءاً أصفر ويساعد على حركة الكتلة الكروية داخل الفراغ. ثم لصقت دائرة غير مفرغة لإغلاق الفراغ ولعدم تسرب الزيت (شكل ٥٨-٨).

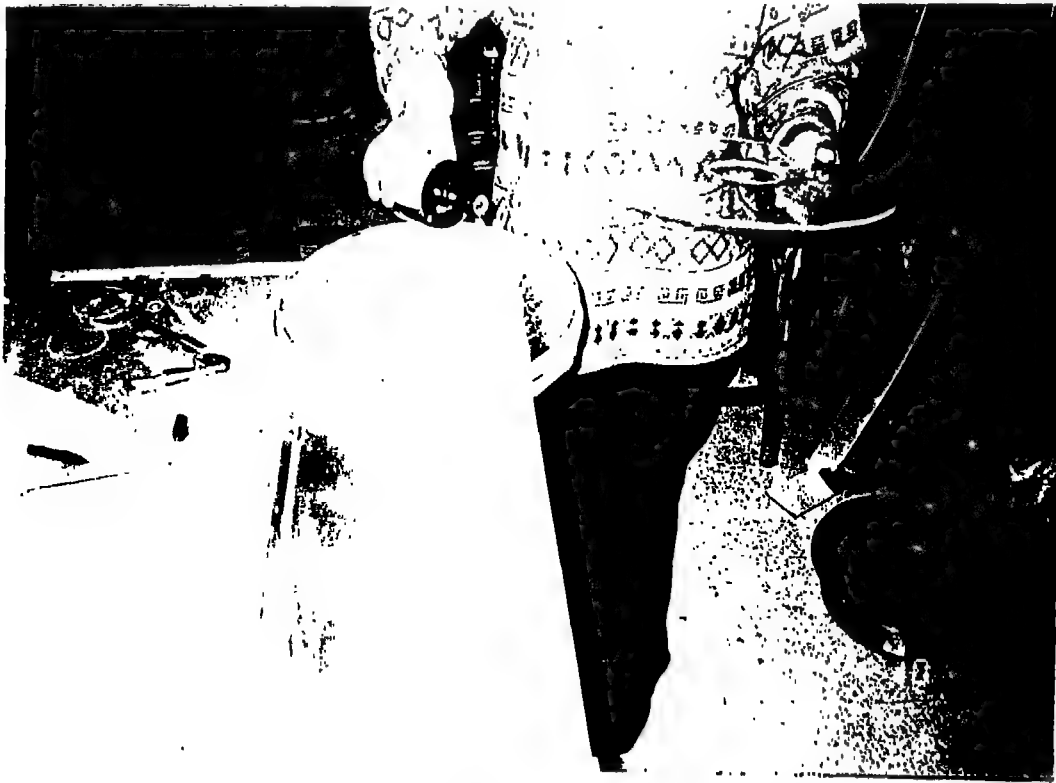
٦- وبنفس الطريقة تم تجميع الجزء الثاني والثالث من الكتلة وإن اختلفا في عدم وجود فراغ بداخلهما (شكل ٥٨-٩).

٧- وبعد اكتمال أجزاء الشكل وتسوية كل جزء على حده بماكينة الجليخ، استخدمت المبرد اليدوية ثم البراشه لإزالة الخوش الناتجة من تأثير عمليات الجليخ والبرد. تتبع ذلك عملية الصقل باستخدام صنفرة دوكو تبدأ من درجات ٤٠٠ حتى ١٠٠٠ للحصول على أفضل النتائج.

٨- ووصولاً لمرحلة الصقل النهائي باستخدام فرشاة التلميع، وقبل البدء وعند تشغيل الموتور، تم مراعاة وضع القالب الأبيض (الجماطة) على الفرشاة لمدة بسيطة أثناء دورانها، حيث يساعد ذلك على تنظيف الفرشاة، ويساعد على عدم حدوث تسخين زائد للخامة أثناء التلميع، مع ملاحظة أن تكون قوة دفع اليد للخامة على الفرشاة متوسطة لأن الضغط الشديد يحدث حرارة عالية نتيجة الاحتكاك مما ينتج عنه تغير لون الخامة إلى اللون المائل للأبيض مما يستوجب صنفرتها ثم تعريضها للتلميع مرة أخرى، وقد يظل الأثر موجوداً رغم ذلك.



-٢٠٦-



شكل (٥٨-٤) وضع كمية من المذيب



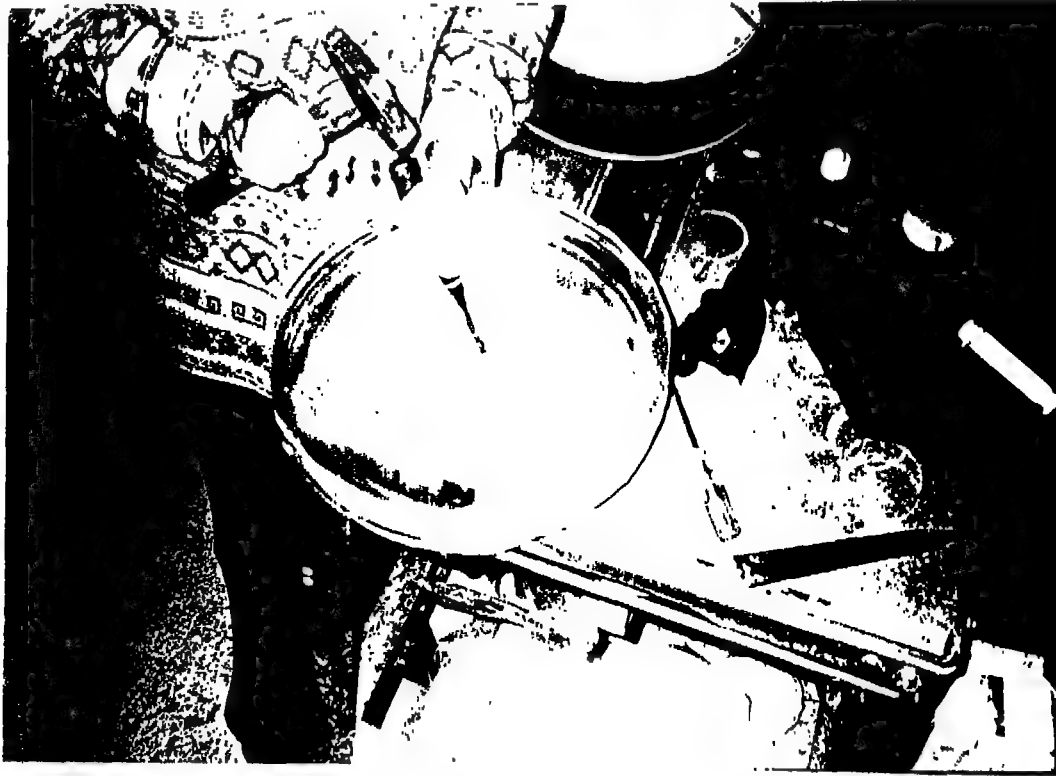
-٢٠٧-



شكل (٥٠٥٨) لصق الدوائر



-٢٠٨-



شكل (٦-٥٨) أحداث ملمس غير منتظم داخل الفراغ الداخلي



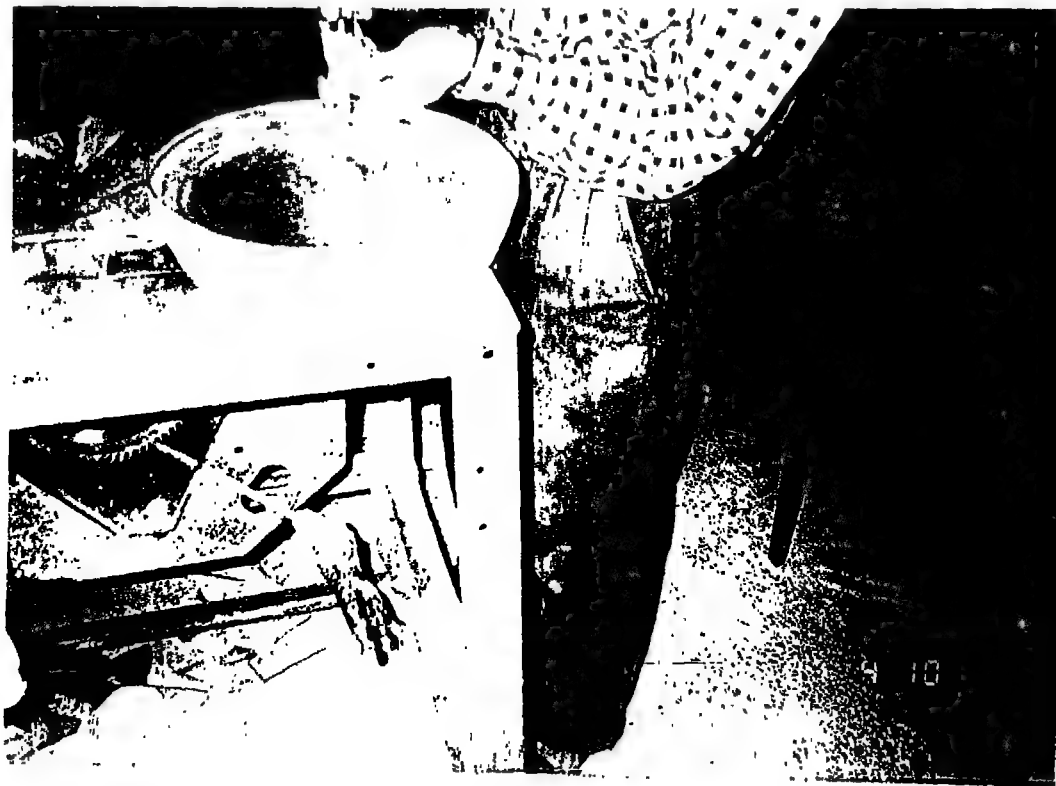


- ٢٠٩ -



شكل (٧-٥٨) عملية الجليخ

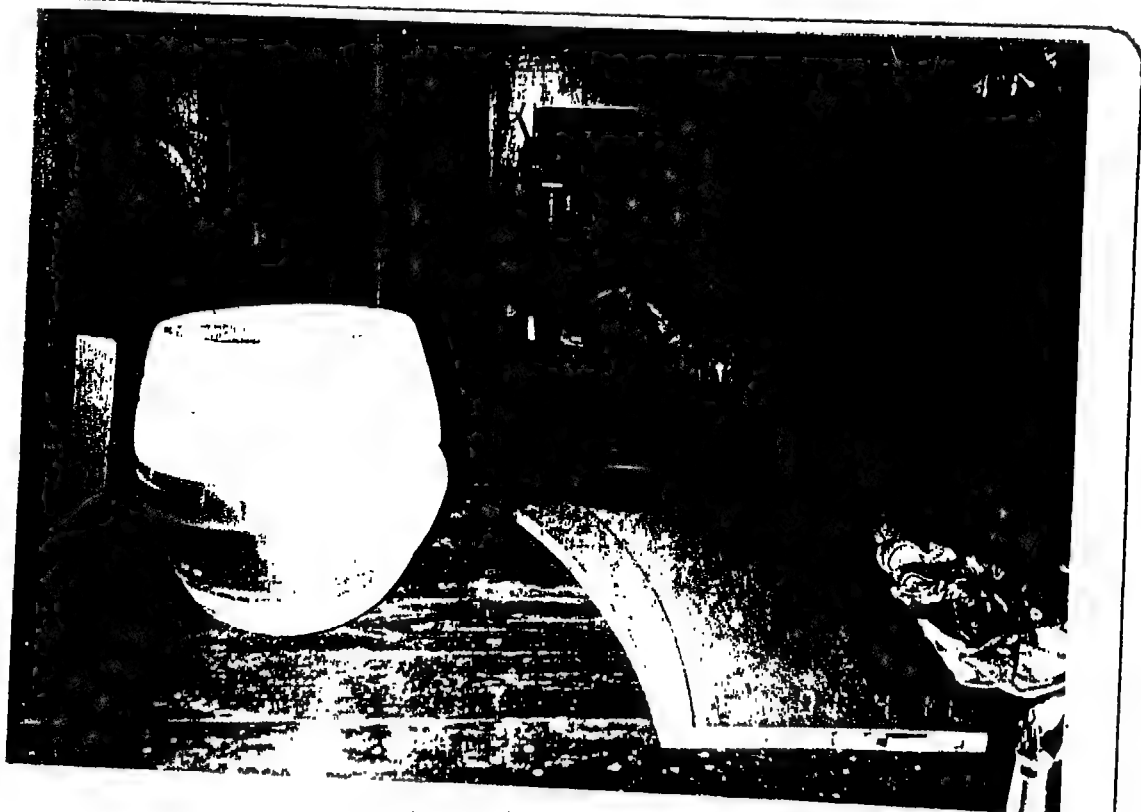




شكل (٨-٥٨) حقن الفراغ الداخلي



- ٢١١ -



شكل (٩-٥٨) تجميع باقى الشكل



## التجربة الثالثة

شكل (٥٩)

اسم العمل : - وجهان

الارتفاع : - ٣٠ سم

العرض : - ٤٠ سم

طريقة التشكيل : نحت في كتلة مجمعه من الواح الأكريليك

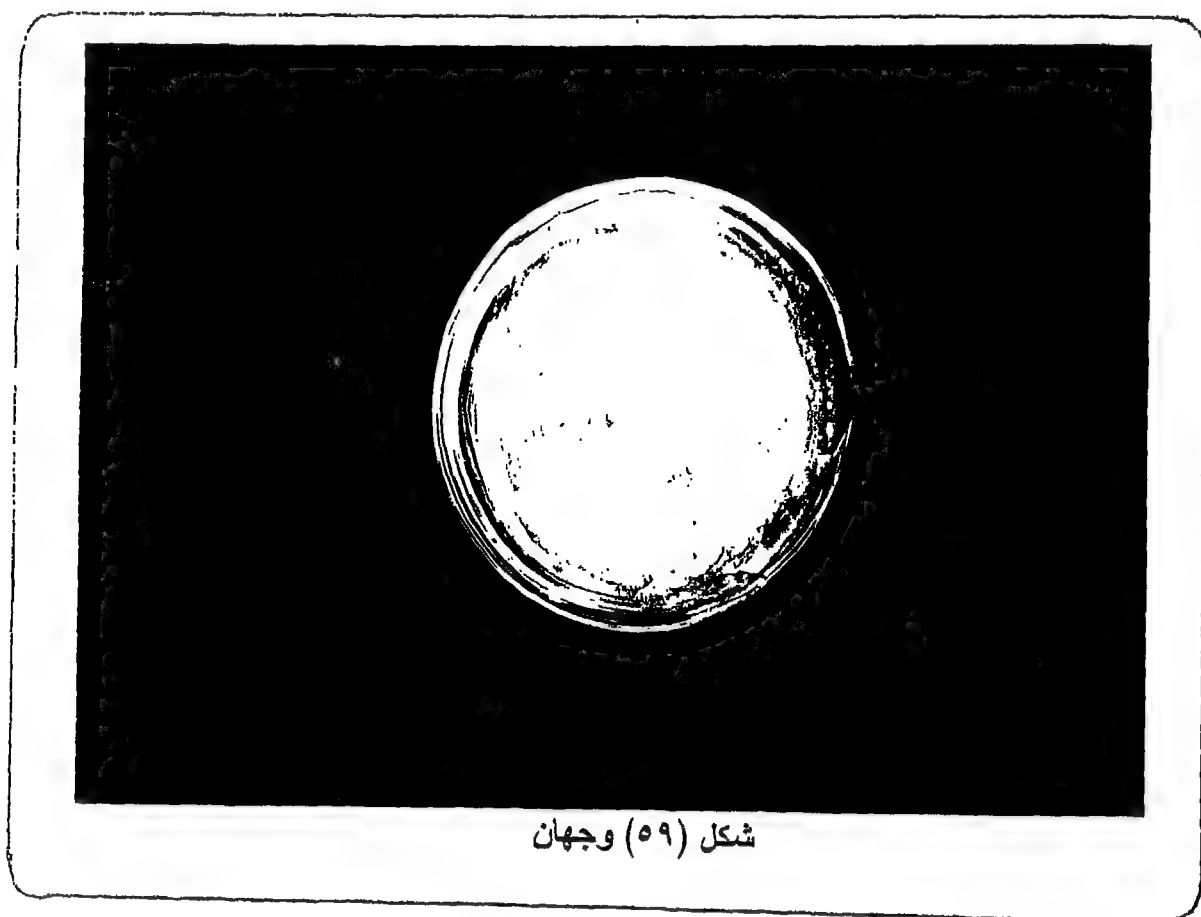
## مراحل العمل

- ١- رسمت مجموعة من الدوائر متدرجة الأقطار تبدأ من ١٥ سم حتى ٣٠ سم على لوح من الأكريليك الشفاف وتم نشرها باستخدام المنشار الدائري.
- ٢- تم إزالة طبقة البلاستيك المغلفة للأكريليك من جانبي الدوائر.
- ٣- لصقت الدوائر حسب تدرجها في القطر من الأصغر إلى الأكبر باستخدام مذيّب كلوروفورم حتى تم تجميع الشكل المخروطي المراد التشكيل فيه.
- ٤- قام الباحث برسم وجهان متقابلان متراكبان أحدهما في وضع أمامي والآخر في وضع جانبي على قاعدة المخروط، ثم تم نحت الوجهان باستخدام أدوات نحت الخشب لتهيئة الشكل مبدئياً. ثم استخدمت مكواة اللحام لدراسة التفاصيل الصغيرة. وترك الباحث تأثير الملامس الناتجة عن استخدام أدوات الخشب في بعض أجزاء من الوجهين والبعض الآخر يحمل تأثير مكواه اللحام.
- ٥- قام الباحث بتغطيه جميع أجزاء الشكل بورق لاصق عدا الجزء المشكل به الوجهان (قاعدة المخروط).
- ٦- وعرض هذا الجزء غير المغطى لمسدس الرملة لإحداث تأثير مختلف في الملمس واللون عن باقي سطح الكتلة.
- ٧- تم إزالة الورق اللاصق، ثم مرت الأسطح الباقية بمراحل الصقل والتلميع.
- ٨- ثبت العمل على قاعدة من الأكريليك الشفاف مزوده بقاعدة أخرى أسفلها من الخشب تحوي مصدرا ضوئيا ملونا.





-۲۱۳-





## التجربة الرابعة

شكل (٦٠)

اسم العمل : العروسة

الارتفاع : ٥٠ سم.

العرض : ٤٠ سم.

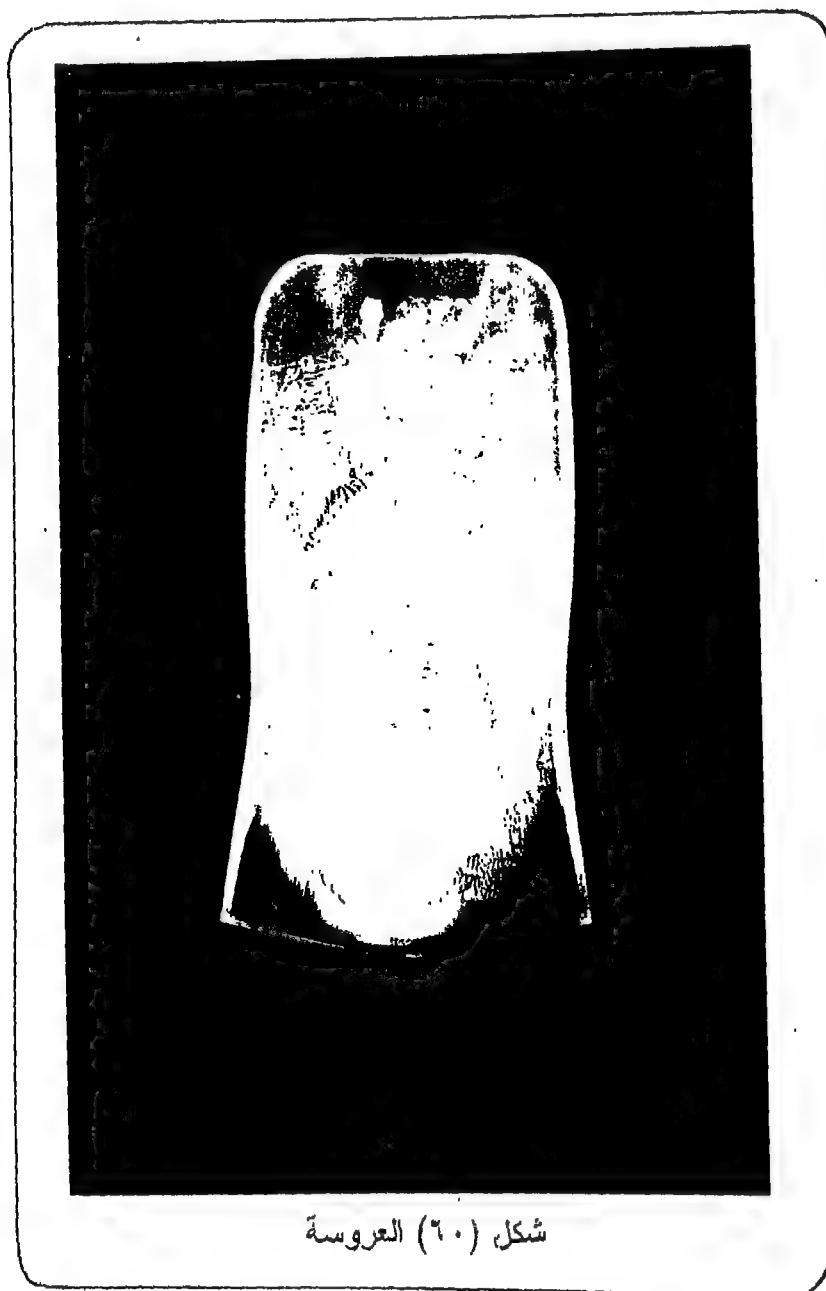
طريقة التشكيل : نحت بارز على لوح اكريليك مشكل حراريا.

## مراحل العمل

- ١- تم تجهيز لوح الأكريليك بسمك ٢ سم، ورسم عليه التصميم.
- ٢- تم حفر التصميم باستخدام مكواة اللحام، بشكل سلبي من الناحية الأمامية للوح بحيث يظهر مجسما من الناحية الخلفية وكأنه مدفون داخل كتلة شفافة.
- ٣- عولج اللوح حراريا باستخدام فرن كهربائي، وذلك لثنيه حسب الشكل المطلوب لإتاحة تعدد زوايا الرؤية في أكثر من جهة اعتمادا على شفافية الخامة.
- ٤- أجرى الباحث معالجة للمساحة الخلفية الشكل العروسة على لوح الأكريليك باستخدام الصنفرة، وذلك لإحداث تباين بين شفافية العروسة والنصف شفاف الناتج عن عملية الصنفرة للمساحة المحيطة للعروسة، وحتى يحدث التباين عند استخدام مصدر ضوئي مباشر مسلط من قاعدة العمل.



-٢١٥-





- ٢١٦ -

## التجربة الخامسة

شكل (٦١)

اسم العمل : الديك

الارتفاع : ٥٠ سم

العرض : ٣٥ سم

طريقة التشكيل : صب الأكريليك

## مراحل العمل

### ١- تجهيز بوليمر الأكريليك

تمت المعالجة الكيميائية لتجهيز بوليمر الأكريليك ببلمرة المونمر جزئيا في وجود أكسيد فوقي عند ٩٠° م إلى جانب إضافة المواد الملدنة ومضادات الأشعة فوق البنفسجية فنتج عن الخلط سائل شرابي القوام يحتوي على ٢٠% من وزنه بوليمر.

### ٢- إعداد القالب

قام الباحث بإعداد القالب مكون من قطعتين: الأولى لوح مشكل من النحاس المطروق بالتصميم المراد تنفيذه والقطعة الثانية لوح من الزجاج مطابق لأبعاد لوح النحاس، ويفصل بين جزئي القالب جوانات من المطاط.

### ٣- عملية الصب

تم صب السائل المجهز في قالب التشكيل، مع رفع درجة حرارته تدريجيا إلى ٤٠° م، ثم إلى ٩٥° م لإتمام عملية البلمرة ثم فتح القالب ورفع الشكل المسبوك.





- ٢١٧ -



شكل (٦١) الديك



-٢١٨-

## التجربة السادسة

شكل (٦٢)

اسم العمل : طيور

الارتفاع : ٥٠ سم

العرض : ٤٠ سم

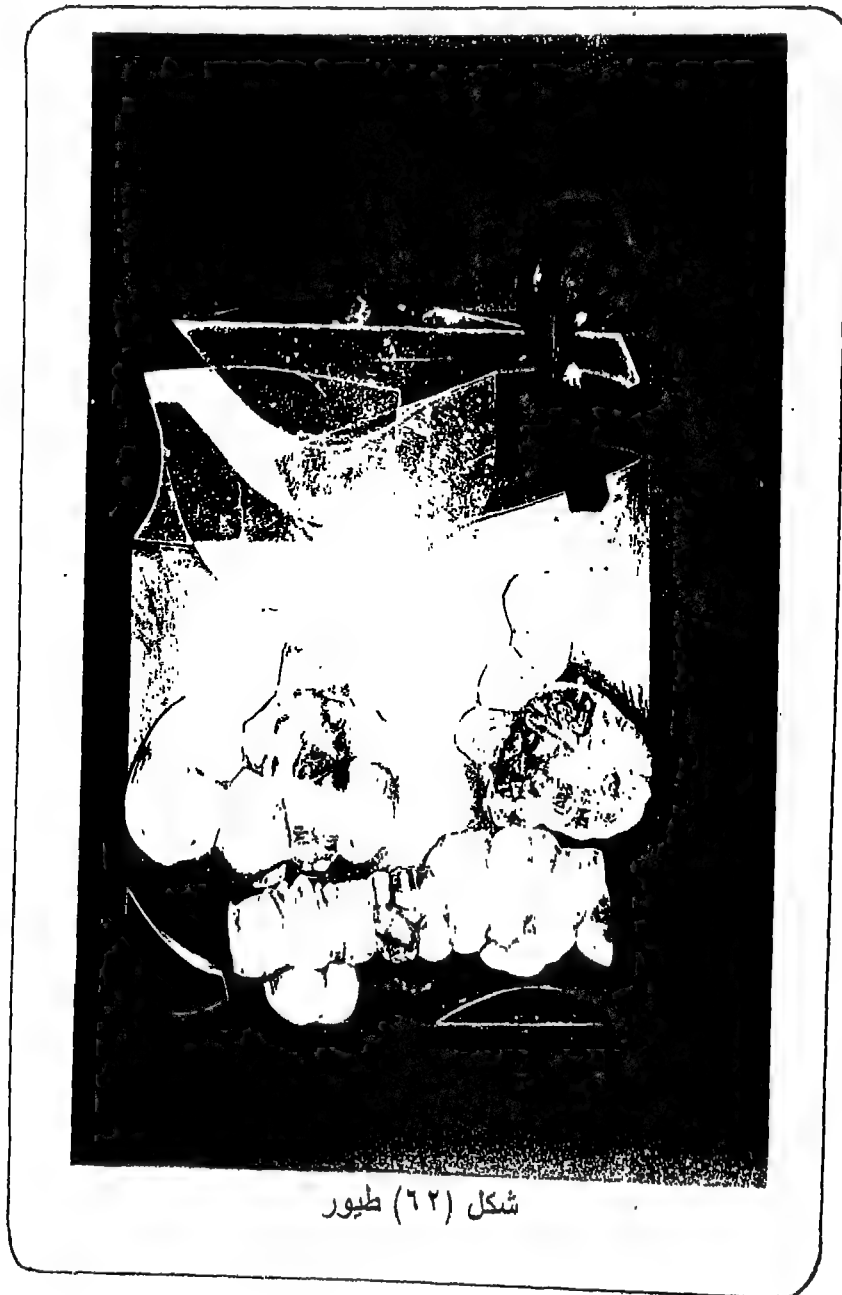
طريقة التشكيل : عمل نحت بارز مجمع من مجموعة كتل والأواح من الأكريليك.

## مراحل العمل

- ١- أعدت لوحة من الأكريليك الأسود بسمك ١ سم ومجموعة من كتل الأكريليك الشفاف عشوائية الشكل ومجموعة من الواح الأكريليك الشفافة مختلفة في السمك.
- ٢- بعد إجراء العديد من المحاولات لتوزيع العناصر بما يحقق رؤية تشكيلية لطائران يتحاوران فوق جذع شجرة.
- ٣- تمت عملية اللصق باستخدام مذيب كلوروفورم حتى أكتمل الشكل وتحددت ملامحه وتم تصويره.



-۲۱۹-





- ٢٢٠ -

## التجربة السابعة

شكل (٦٣)

اسم العمل : البساط

الارتفاع : ٣٠ سم.

العرض : ٢٠ سم.

طريقة التشكيل : نحت بارز في لوح من الأكريليك.

## مراحل العمل

- ١- اعد لوح الأكريليك بسمك ٥ سم، وتم رسم التصميم عليه.
- ٢- بدأت عملية الحفر باستخدام أدوات نحت الخشب.
- ٣- تمت عملية صنفرة وتلميع أسطح القطعة، ولصق ورق مصنوع من النيكل على الجوانب الثلاثة المحيطة بالقطعة وذلك لتجميع الضوء وانعكاسه على الخطوط الغائرة المحفورة في التصميم لعدم نفاذيته للخارج من خلال الجوانب الثلاثة.
- ٤- ثبت العمل على قاعدة شفافة من الأكريليك مزودة بقاعدة أخرى أسفلها من الخشب تحوى مصدرا ضوئيا ملونا. حيث ظهر الشكل المحفور مضاءا ومتلألئا في الفراغ.





- ٢٢١ -





## خلاصة البحث

من خلال هذا العرض لخامة الأكريليك، واثرها على تنوع أساليب الأداء في العمل النحتي، والرجوع إلى المصادر والمراجع العلمية، ومن خلال التجربة العلمية يتضح لنا أن خامة الأكريليك أثبتت صلاحيتها للتشكيل النحتي لما تحققه من خصائص وقيم تشكيلية متميزة. فلقد تناول كثير من الفنانين هذه الخصائص بالتجريب، ونتجت عن تجاربهم أعمالا فنية شهيرة ومرموقة في فن النحت.

وقد تناول البحث كافة أنواع التشكيل ووسائله ابتداء بعملية الصب - التشكيل الحراري - وسائل التجميع - النحت المباشر وصولا إلى عمليات الإنهاء والتشطيب. وقد أثمرت التجارب الخاصة بهذا البحث عدة نتائج أهمها

### ١ - نتائج متعلقة بالخصائص الطبيعية الخامة بالأكريليك

- تتميز خامة الأكريليك بخفة الوزن والصلابة والمقاومة ومقاومة الرطوبة في التشكيلات النحتية بقياسها بمواد النحت التقليدية كالبرونز والأحجار والأخشاب
- صالحيته للغرض الخارجي محدودة قياسا بالخامات الأخرى، فهي تصلح للعرض في الداخل وذلك حيث أنها تتأثر بالأشعة فوق البنفسجية، وأيضا لسهولة خدش سطحها تأثرا بعوامل الجو الخارجية ( الأتربة ).

### ٢ - نتائج متعلقة بأساليب التشكيل

يتضح من خلال البحث إن لكل أسلوب في التشكيل خصائصه المتميزة، حيث ينبغي الإفادة من تنوع وتعدد أساليب التشكيل بما يتيح كل أسلوب من مميزات وإمكانات معينة إلا أنه ليست هناك طريقة مثلى لاتباعها في عملية التشكيل، بل لكل أسلوب منهجه تبعا لطبيعة الشكل.



### - التشكيل بالتصفيح

التشكيل بطريقة التصفيح ( تجميع كتلة مصمته من الواح الإكريليك ) أتاحت للباحث إمكانية التحكم في حجم ولون درجة شفافية كتلته النحتية المنفذة بخامة الأكريليك.

### - التشكيل بالتسخين

من خلال التجربة يتضح للباحث أثناء عملية التشكيل الحراري بطريقة تفريغ الهواء إنه كلما قل سمك لوح الأكريليك المشكل كلما وضحت التفاصيل بصورة أدق.

### - التشكيل بالتجميع

أ- استخدام مذيب (ميثيل ميثاكريلات) يعطى أحسن النتائج البصرية عند لصق ألواح الأكريليك الشفافة (فهو لا يحدث الفقاعات الهوائية التي تتواجد عند استخدام مذيب الكلوروفوم).

ب- إمكانية الجمع بين خامة الأكريليك وخامات أخرى للحصول على عمل نحتي متعدد الخامات.

### - الصب

صب بوليمر الأكريليك يتطلب تجهيز معمل خاص يصعب تحقيقه في مرسوم الفنان، وللحصول على أفضل النتائج البصرية للقطعة النحتية المسبوكة بخامة الأكريليك يفضل استخدام قوالب من الزجاج.

### - الإنهاء والتشطيب

تتباين النتائج البصرية للعمل النحتي حسب تنوع وسائل الإنهاء والتشطيب والتي نسم تجربتها على النحو التالي (البرد - التلميع والصقل - الصنفرة - وكذلك تأثير الملامس الناتجة عن استخدام أدوات النحت ومكواة اللحام).

### ٣ - نتائج متعلقة بشفافية الخامة

- تعتبر خامة الأكريليك أكثر اللدائن تحقيقاً لعنصر الشفافية في العمل النحتي.



- تتيح شفافية خامة الأكريليك للنحات إمكانية إحداث فراغ داخلي خلال عمله النحتي وحقنه بسوائل قد تكون ملونه حيث يمكن رؤيتها من السطح الخارجي محققا أبعادا تشكيلية جديدة.
- تحقق شفافية خامة الأكريليك إمكانية متنوعة في النحت البارز على لوح الأكريليك، وذلك سواء بالطريقة التقليدية للنحت البارز (بنحت المساحة المحيطة للتصميم المرسوم من خلال لوح من الأكريليك ليبدو بارزا على السطح الأمامي أو عن طريقة عمل نحت غائر من الناحية الخلفية للعمل حيث يظهر التصميم مجسما من الناحية الأمامية) اعتمادا على فاعلية الضوء ودرجة الشفافية.

#### ٤ - نتائج متعلقة باستخدام الإضاءة

- تم استخدام الضوء لتحقيق تأثيرات لونية متنوعة في العمل النحتي المنفذ بخامة الأكريليك.
- إمكانية التحكم بصورة مباشرة في تنويع الأجزاء المضائة في العمل النحتي دون الأجزاء الأخرى.





## قائمة المراجع

- 1- El Demerdash, A. Said – “Plastic Technology” in Arabic “تكنولوجيا البلاستيك” – Dar El Kateb El Araby – Cairo –Pages 7, 18, 37, 40,81-91.
- 2- Ress, David – “Creative Plastics” - Published by Studio Vista-London – Pages 8, 11 – 14, 18-24, 31, 32, 79 - 1973.
- 3- Barsily. H, Kernz. F.A. - “Plastic in the service of man” in Arabic “البلاستيك في خدمة الإنسان” – Translate Yousef Moustafa El Harony and Others – El Shark Liberety in Fagala – Pages 9, 13, 15, 18, 30, 77, 79, 91, 113, 217.
- 4- Charles A. Harper – “Hand book of Plastics and Elastomers” - McGraw/Hill book company - New York – Pages 4-9.
- 5- Sherif, El Said Abd El Meged – “Plastic, Rubber and Artificial Fiber in our New Life” in Arabic “البلاستيك والمطاط والألياف الصناعية في حياتنا” – El Ahram Center for Translation and Publish – First Edition – Pages 66, 48 - 1999
- 6- L. Richardson, Terry – “Industrial Plastics; Theory and Application” Second edition - Delmar Publishers Inc – Pages 7, 13, 15, 24, 77-58, 124.
- 7- E. Driver, Walter – “Plastics Chemistry and Technology” - Van Nostrand Reinhold company - New York- Pages 20, 22, 30, 39, 45, 63.
- 8- El Ashram, Aly – “Plastic and Technology Properties” - In Arabic “اللدائن وخواصها التكنولوجية” - Dar El Rateb El Arabyy – Pages 7, 100-102, 121.
- 9- “Modern Plastics Encyclopedia” – Pages 15 - 1982.



- 10- J. Mattiello, Joseph – “Protective and Decorative Coatings” - New York- volume 1 – Pages 477.
- 11- J. Patton, William – “Plastics Technology Theory, Design ; and Manufacture” - Reston publishing company, INC – Pages 35, 40, 47.
- 12- <http://www.plasticsusa.com/pmma.htm>.
- 13- <http://www.ecoplastics.com/ecoplastics/physpropofax.html>.
- 14- R.J. Crawford – “Plastics Engineering” - Peryamon Press – Pages 164, 263, 286-298- 1981.
- 15- Roukes, Nicholas – “Sculpture In Plastics” Watson, Guptill Pub. – New York – Pages 71-79, 86-1987.
- 16- Mills, John. “The Technique of casting for sculpture” - The Bath Press - for the publishers. B.T. Batsbord. Ltd. M11 – Pages 12, 31, 61, 238, 239.
- 17- D. Beadle, John – “Macmillan Engineering Evaluations Student Edition”. The Macmillan Press Ltd - London and Basigtoke - Pages 28, 68- 1972.
- 18- M. Hammacher, A – L, “Evolution De La Sculpture Modern” – Editions Cercle D’Art Paris – New York - Pages 226 - 1971.
- 19- J. Harry Dubois and Frederick W. John – “Plastics” - Van Nostrand rein Hoold company – Pages 151, 241, 245.
- 20- Jan Butter Field-“The Art of the light + space” – Page 31, 239, 263, 292- 1993.
- 21- Cathine Sease A Conse X Vation Mation – “Manual for the field Archeologist” – Pages 164.



- 22- Falangan, Gorg – “About Modern Art” In Arabic “حول الفن الحديث” -  
Translate Kamal El Malah – Dar El Maaref in Egypt – Pages 75, 76 –  
1962.
- 23- Schodek, Daniel – “Structure in Sculpture” -Massachusetts  
institute of Technology - Pages 182 - 1993.
- 24- Tucker, William – “The Language of Sculpture” - Thames and  
Hudson Ltd, London – Pages 133, 134 - 1981.
- 25- A, Nash, Steven and Merkert, Jorn – “Naum Gabo” – Neues  
Publishing Company – New York – Pages 9, 78, 117 – 1987 .
- 26- Abd EL Wahab Shokry – “Theatre Lightening” – In Arabic “الإضاءة  
المسرحية” - The Egyptian General book authority – Pages 178 – 180 -  
1988.
- 27- Watson, Lee – “Lighting Design Hand book McGraw” - Hill, Inc –  
Pages 62, 63, 64.
- 28- A.M. Hammacher – “Modern Sculpture Tradition and Innovation” -  
Harry N. Abrams, INC., Publishers, New York - Pages 37. 274, 277-  
1989.
- 29- Jan Butter Field- “The Art of Light + Space” - Pages 88, 195-199-  
1993.
- 30- Gelan Scoon, Robert – “Principles of design” - In Arabic “أسس  
التصميم” - Dar El Nahda Misr – Pages 45.
- 31- R. Newman, Thelma – “Plastics as an Art form” - Philadelphia by  
Chilton company – Pages 31, 47-51.
- 32- Zenham, Mohamed – “The Technology of the Art of Glass” In  
Arabic “تكنولوجيا فن الزجاج” - The Egyptian General book authority -  
Pages 42-1995.



## ملخص الرسالة

تلعب الخامة دوراً محورياً في علاقتها بالعملية الإبداعية في مجال التشكيل النحتي، فالخامة هي الوسيط المادي الذي به ومن خلاله يتم التعبير والتشكيل بكافة أنواع طرق التنفيذ المتاحة لكلاً منها، ومن خلالها يتم تجسيد واستشعار القيم والمعايير الفنية والجمالية، ومن ثم فدراسة الخامة تعتبر أساساً حيويًا نقف من خلاله على مدى تقدم الفكر التشكيلي فنياً وإبداعياً لذلك جاء موضوع البحث ((الامكانات التشكيلية لخامة الأكريليك في فن النحت)) كى يحقق جانباً علمياً، وتشكيلياً، وتجريبياً في هذا المجال.

وقسم البحث خلال العرض إلى أربعة أبواب وهي كما يلي:

١-الباب الأول: خامة الأكريليك.

٢-الباب الثاني: أساليب التشكيل بخامة الأكريليك.

٣-الباب الثالث: المعطيات التشكيلية لخامة الأكريليك.

٤-الباب الرابع: تطبيقات عملية.

وفيما يلي عرضاً موجزاً لما تناولته أبواب البحث.

فيتضمن الباب الأول تمهيد عن ماهية البلاستيك وتقسيم المواد البلاستيكية بشكل عام طبقاً لخواصها الحرارية والتعريف بخامة الأكريليك، وصور تواجدها، واستخداماتها، الخواص البنائية والكيميائية لخامة الأكريليك وأثرها على سلوك الخامة من حيث الهيئة البلورية، نسبة امتصاص الرطوبة، طرق البلورة المختلفة التي من أهمها البلورة الكتلية أكثر الطرق استخداماً في صناعة الألواح والقضبان، إلى جانب تأثير المذيبات على الخامة.

ويعرض الخواص الفيزيائية لخامة الأكريليك من خلال دراسة الخواص الحرارية من حيث مقاومة للحرارة - الموصلية الحرارية - الحرارة النوعية - معامل التمدد الحراري - القابلية للاشتعال - معامل الانصهار - نقطة التحول الزجاجي كذلك الخواص الميكانيكية وتشمل تأثير الصدمة - الاستجابة أو الخضوع - الشروخ الناتجة عن الضغوط - مقاومة الشد - الصلابة - معامل المرونة - المتانة بالإضافة إلى الخواص البصرية حيث قسمت فيما





يتعلق بالضوء إلى شفافية - نصف شفافية - معتمة، واستادا إلى الجانب العلمى تناول الباحث معاملات الانكسار ونسبة الشفافية لبعض أنواع من البلاستيك الشفاف، وقد اختص الجزء الأخير بدراسة تأثير العوامل الجوية، التى تنتج عن مجموعات من المؤثرات البيئية وتشمل الأشعة فوق البنفسجية، والتغيرات الجوية وما تحدثها من تأثير على الخامة.

ويعرض الباحث فى الباب الثانى استخدام العدد والأدوات الأداء فى عمليات التشكيل المباشر بخامة الأكريليك وتقنيات الأداء أثناء عمليات النقب - النشر - الخرط - النقرو - التفريز - القطع - البرد - اللفح بالرمال.

ثم يتناول دورة التشكيل الحرارى لألواح الأكريليك التى تتمثل فى عمليتين الأولى طرق تسخين الألواح، أما العملية الثانية تتضمن تصنيفات رئيسية للتشكيل الحرارى بعدة تنويعات فى نطاق كل تصنيف وهى تشمل - التشكيل بالضغط - التشكيل باستخدام القوالب المتوائمة تم تناول مع شرح مفصل لمميزات كل طريقة واستخداماتها.

ثم يتناول البحث عرضا شاملا لعمليات الصب المختلفة بعد تقسيمها من حيث صورة المادة الخام التى يتم تشكيلها إلى عملية تشكيل مادة خام فى الحالة المتعجنة وعمليات التشكيل فى الحالة السائلة وكيفية صب ألواح الأكريليك.

ثم تناول الطرق التى يمكن استخدامها لإتمام عملية التجميع وأكثرها شيوعا، الربط عن طريق اللصق. والربط عن طريق اللحام بأنواعه المختلفة، وبعد الانتهاء من عرض وتحليل الأساليب التشكيلية لخامة الأكريليك وضحت فى الجزء الأخير الطرق المتبعة لإنهاء العمل النحتى المنفذ بالخامة وهى تشمل عمليات الصنفرة ثم الصقل ثم التلميع وصول إلى مرحلة التنظيف النهائية للحصول على سطح ناعم ولامع.

وبعد انتهاء الباب الثانى نكون قد استعرضنا طبيعة خامة الأكريليك وخواصها وأساليب التشكيل والتجميع والأنهاء والتشطيب فيها ونأتى بعد ذلك بالباب الثالث وهو يبحث فى الرؤية التشكيلية للضوء فى المدرسة البنائية حيث أتاحت خواص هذه الخامة مجالا للتجريب وتحقيق قيمة للفراغ الحقيقى، واستخدام الضوء الحقيقى.



وتناول عرضاً شاملاً بتعريف الضوء وتألفاته وكيفية التحكم فيها والحركة في التشكيل الضوئي وأنواعها ثم ينتقل البحث للتعرض للتشكيل بالضوء من خلال خامة الإكريليك والتي قسمت الإضاءة خلالها إلى نوعين النوع الأول الإضاءة الحافية والنوع الثانى إضاءة النقوش الغائرة، وقام الباحث بعرض أمثلة من أعمال فنانين اعتمدوا على إستغلال الخواص الضوئية لخامة الإكريليك فى أعمالهم.

ثم تناول الباحث بالشرح المواد الملونة المستخدمة فى صناعة ألواح الإكريليك وخواصها البصرية ثم طرق تلوين العمل النحتى المنفذ بخامة الإكريليك، ووسائل التلوين بالضوء والتلوين بالمواد الصبغية أمثلة لأعمال نحتية ملونة منفذة بالخامة.

وعرف الباحث مفهوم الشفافية وكيفية انتقال الضوء داخل المواد الشفافة، والشبه شفافة بالإضافة إلى استخدام الفنانين للخامات الشفافة، القيم الجمالية التى تصنيفها الشفافية على الأعمال النحتية، وذلك من خلال عرض لبعض أمثلة من الأعمال النحتية الشفافة المنفذة بخامة الإكريليك.

وفى الباب الأخير وبعد الانتهاء من العرض والتحليل للدراسات الخاصة للخامة من خلال الأبواب الثلاثة السابقة، وجدت أنه من المفيد لاستكمال هذه الدراسة التعرض لبعض أعمال نحتية لفنانين معاصريين منفذة خلال خامة الإكريليك من الناحية التقنية، فقد حاول الباحث اجتهداً التعامل مع هذه الخامة من خلال بعض التجارب العملية مرفقاً بالصور لخطوات النحت والتشكيل قدر ما أمكن وما زالت إمكانيات هذه الخامة التشكيلية تسمح بالمزيد من التجريب لإبراز معالجات ثرية وتجارب تتسم بالخصوصية وتحتل رموزاً تضيف أبعاداً جديدة لإمكانيات التعبير لهذه الخامة هذا بالإضافة إلى خصوصية التجربة النحتية التى يمكن أن يكتشفها النحات عند استخدام هذه الخامة الثرية.

وأسأل الله التوفيق فى هذا الجهد المتواضع





The third chapter of this research gives a complete account of the definition of light and its glittering, the different methods of controlling it, and also the use of light to make forms and shapes through the use of Acrylic. In this field, the research mentions two kinds of illuminating: a-illuminating the edges of any sculptural work, b- illuminating the engraved ornaments.

Through the third chapter of this research we have been able to know something about the colouring materials which are followed in colouring any sculptural work carried out by means of Acrylic. The researcher in this chapter gives different example of coloured sculptural works carried out by means of Acrylic.

This research gives a good account of the meaning and concept of transparency. It explains how light penetrates through transparent and semitransparent materials; and why artists make use of transparent materials. In fact transparency adds a great deal to the aesthetic values of any artistic work carried out by means of Acrylic.

In the last chapter of this research, and after tracing and analysing the studies connected with Acrylic, the researcher found it useful to give examples of some sculptural works carried out by some contemporary artists. Who used Acrylic in their artistic sculptural works.

The researcher has tried to use Acrylic through some Practical experiments, and has shown by means of pictures and photos the steps which she followed in the field of sculpture and formation. Through the researcher's experiments on Acrylic, she found out that the formative capabilities of Acrylic can encourage artists to practice more experiments, which may add new spheres of expression through the use of Acrylic.



After that, the chapter deals with the cycle of thermal formation of Acrylic sheets, beginning with the methods of heating the sheets and then the formation or the shaping of them by means of pressure or through pouring the material into moulds.

The research deals with the different ways of pouring Acrylic into moulds which are carried out according to the shape of the raw material which has been formed whether it may be in the liquid state or in the paste state.

The research has also dealt with the methods which can be used to complete the process of assembling the sheets, and the process of connecting them through sticking or welding.

After discussing and analysing the methods of shaping and forming Acrylic, the last part of the second chapter has dealt with the methods of finishing the sculptural work which is achieved by using Acrylic as a medium. These methods include the process of abrasion and polishing to achieve a smooth.

After discussing the nature and properties of Acrylic in the first two chapters of this research, we find out that the third chapter deals with the possibilities which can be achieved and realized through the use of Acrylic.

That is because the properties of Acrylic have enabled artists to go through a vast field of experimentation. Artists through their practice on Acrylic, have become aware of the value of real space and have been able to use real light.





and the percentage of moisture absorption existed in this material; the most common methods of manufacturing sheets and rods made of Acrylic. The research in this chapter also mentions the effect of different solvents on Acrylic. In the first chapter also we can find an account of the physical properties of Acrylic through a study made to show the thermal properties of this material and its resistance to heat and weather it is a good or bad conductor of heat.

In the first chapter also the research deals with the mechanical properties of Acrylic, which include: the effect of shocks; the cracks resulting from pressure the durability of this material and its flexibility.

Form the point of view of optical properties and capacities Acrylic is divided into three kinds; transparent, semi transparent, and opaque.

Scientifically, the research has dicussed the idea concerning fraction of light, and the percentage of transparency of some kinds of plastic.

The last part of the first chapter has been devoted to show the effect of weathering factors resulting from a number of environmental effects including ultra-violet radiations, and weather changes.

The second chapter of this research deals with the usage of tools and equipment in the processes of direct formation of Acrylic; its drilling, its sawing its framing and its cutting.



## SUMMARY

The material plays an important part in its relation with the creative operation connected with the art of sculpture. The raw material is the medium with which and through which any expression or formation is carried out. Through the material also all the aesthetic and artistic values and estimates can be embodied and appreciated. Therefore the study of the material is considered a vital part with which we can trace the development achieved in the field or formation artistically and creatively.

This research entitled "Plastic possibilities of Acrylic in sculpture" is intended to give a scientific and plastic study in this field.

The research is divided into four chapters which are as follows:

- 1- Chapter one: The material of Acrylic.
- 2- Chapter two: The methods of forming Acrylic.
- 3- Chapter three: The given capabilities of Acrylic.
- 4- chapter four: Practical application.

The following is a brief account of what has been dealt with in the chapters of this research:

The first chapter deals with what plastic is, and dividing plastic materials according to their thermal properties. This chapter also deals with the definition of Acrylic; the forms of its existence; its uses; its shaping and chemical properties and the effect of these properties on the behaviour of this material from the point of view of its crystalline state,







